
Adaptationsmechanismen für technologiegestütztes Lernen

Unterstützung informeller Formen des Lernens am Arbeitsplatz

Zur Erlangung der Habilitation
vom Fachbereich Informatik
der Technischen Universität Darmstadt
genehmigte Habilitationsschrift
von Dr.-Ing. Christoph Rensing



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Adaptationsmechanismen für technologiegestütztes Lernen
Unterstützung informeller Formen des Lernens am Arbeitsplatz

Vom Fachbereich Informatik
der Technischen Universität Darmstadt
genehmigte Habilitationsschrift
von Dr.-Ing. Christoph Rensing

Tag der Einreichung des Habitationsgesuches: 24.01.2017

Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Informatik¹
Fachbereich Elektrotechnik & Informationstechnik²

¹ Das Habitationsverfahren erfolgte am Fachbereich Informatik.

² Die Habilitationsschrift entstand während der Beschäftigung im Fachbereich Elektrotechnik & Informationstechnik.

Danksagung

Mein Dank gilt zuallererst Professor Ralf Steinmetz, der mir am Fachgebiet Multimedia Kommunikation (KOM) ein hervorragendes Umfeld geschaffen hat, um die in dieser Arbeit beschriebenen Forschungsarbeiten durchzuführen. Er hat mir jederzeit ausreichend Eigenständigkeit und Gestaltungsspielraum geboten, um, meinen eigenen Interessen folgend, eigenständig Forschungsprojekte zu akquirieren, durchzuführen und die Ergebnisse zusammen mit meinen Kolleginnen, Kollegen sowie Studierenden an der Technischen Universität Darmstadt aber auch mit Kolleginnen und Kollegen an anderen Institutionen zu publizieren.

Weiterhin danken möchte ich den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der von mir geleiteten Forschungsgruppe, in der wir uns mit Lern- und Wissenstechnologien am Fachgebiet KOM und am htcc e.V. beschäftigen. Namentlich genannt seien an dieser Stelle Thomas Hildebrandt, Stephan Tittel, Andreas Faatz, Marek Meyer, Birgit Zimmermann, Lasse Lehmann, Sonja Bergsträsser, Philipp Scholl, Doreen Böhnstedt, Renato Domínguez García, Mojisola Erdt, Johannes Konert, Sebastian Schmidt, Irina Diaconita, Steffen Schnitzer und Lena Després. Sie alle haben in unterschiedlichem Umfang einen Beitrag zu meiner eigenen Forschungsarbeit geleistet. Dieser Beitrag erfolgte entweder direkt durch ihre Mitarbeit in Forschungsprojekten und an Publikationen sowie ihre eigenen Forschungsarbeiten oder indirekt durch gemeinsame Diskussionen und einen regen wissenschaftlichen Austausch. Zum positiven Umfeld am Fachgebiet KOM zählen auch alle anderen Kolleginnen und Kollegen im wissenschaftlichen, administrativen und technischen Bereich, die mir oft den Rücken freigehalten haben.

Danken möchte ich auch den verschiedenen Forschungs- und Anwendungspartnern in den interdisziplinär durchgeführten Forschungsprojekten, in denen viele der in der Arbeit beschriebenen Ergebnisse entstanden sind. Die interdisziplinäre Diskussion mit Spezialisten aus Pädagogik, Psychologie und Fachdidaktik bieten mir immer wieder neue Anregungen und Erkenntnisse. Ohne diese sind Arbeiten im interdisziplinären und anwendungsorientierten Forschungsfeld des technologiegestützten Lernens kaum durchführbar. Die Anwendungspartner aus Unternehmen liefern immer wieder die spezifischen Szenarien und Anforderungen an die von uns gestalteten Lernanwendungen. Sie bieten die Möglichkeit, die von uns gestalteten Anwendungen und Mechanismen zu evaluieren. Aus der Diskussion mit diesen Partnern gewinne ich einen wesentlichen Teil meiner Motivation. Hier wird der Nutzen unserer Forschungsarbeiten ersichtlich.

Zuletzt und nicht weniger intensiv möchte ich meiner Frau Eva und meinen Kindern Linus und Theo danken, die es immer wieder tolerieren, wenn ich meiner Forschung auch außerhalb der Regelarbeitszeit durchführe und wegen Projektmeetings, Gremiensitzungen und Tagungsbesuchen nicht zu Hause bin.

Darmstadt, im Januar 2017
Christoph Rensing



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Zielsetzung.....	1
1.3	Beiträge und Aufbau der Arbeit	2
2	Adaptationsmechanismen für Lernanwendungen	3
2.1	Formen der Adaptation von Lernanwendungen.....	3
2.2	Bestehende Verfahren zur Adaptation von Lernanwendungen	7
2.2.1	Adaptive Hypermedia Systeme und Intelligente Tutorielle Systeme.....	7
2.2.2	Learning Analytics und Educational Data Mining	8
2.2.3	Kontextbewusste Lernanwendungen.....	10
3	Informelles Lernen am Arbeitsplatz	14
3.1	Informelles Lernen in offenen Lernumgebungen	15
3.2	Notwendigkeit von Adaptationsmechanismen in offenen Lernumgebungen	16
4	Ressourcen-basiertes Lernen und personalisierte Empfehlungen	18
4.1	Ressourcen-basiertes Lernen: Lernen und Wissenserwerb mittels digitaler Ressourcen	18
4.2	Konzepte für Lernanwendungen zum Ressourcen-basierten Lernen.....	19
4.2.1	Aktivitäten zur Unterstützung von Planung und Reflektion.....	20
4.2.2	Typisiertes Taggen zur Auflösung von Mehrdeutigkeiten und zur Erweiterung der Suchmöglichkeiten.....	21
4.3	Umsetzung der Konzepte in der CROKODIL-Lernumgebung	22
4.4	Adaptive Empfehlungen von Lernressourcen in CROKODIL	24
4.4.1	Strukturelle Empfehlung in Abhängigkeit vom betrachteten Objekt.....	24
4.4.2	Inhaltsbasierte Empfehlungen.....	25
4.4.3	Graphen-basierte Empfehlungen unter Berücksichtigung der Aktivitäten	26
4.4.4	Graphen-basierte Empfehlungen unter Berücksichtigung der Tag-Typen.....	28
4.5	Evaluation von Empfehlungssystemen in Lernanwendungen	29
5	Adaptive Nutzerinteraktionen im situativen, erfahrungsbasierten Lernen	30
5.1	Bedeutung situativen Wissenserwerbs auf Grundlage von Erfahrungswissen	30
5.2	Konzept für eine Lernanwendung zum situativen Wissenserwerb	32
5.3	Die MOLEM-Lernanwendung.....	33
5.4	Kontext-abhängige Steuerung der Interaktion in MOLEM	34
5.4.1	Steuerung der Interaktion in MOLEM.....	35
5.4.2	Aktivitätserkennung mit Hilfe der Sensorik eines Smartphones	36
5.4.3	Adaptivität in der MOLEM-Lernanwendung	38

6	Zusammenfassung und Ausblick	39
6.1	Zusammenfassung und Beiträge der Arbeit.....	39
6.2	Potenziale der Adaptation von Lernanwendungen und Forschungsbedarfe.....	39
	Literaturverzeichnis	41

1 Einführung

1.1 Motivation

Berufliches Lernen ist im Zeitalter der Digitalisierung erheblichen Veränderungen unterworfen. In Schule, Studium und Ausbildung steht vermehrt der Erwerb von Kompetenzen durch die Lernenden im Fokus. Wissen muss fortlaufend während des Erwerbslebens aktualisiert und ergänzt werden. Das gilt insbesondere wegen häufig rasanter Veränderungen der beruflichen Wissensanforderungen, unter anderem bedingt durch die zunehmende Digitalisierung der Arbeit. Daneben verändern die digitalen Technologien wie das Internet, Web-Anwendungen, mobile Endgeräte und allzeit verfügbare Lern- und Wissensinhalte die Form des Lernens. Lernen findet zunehmend in informellen Formen, d.h. ohne die Beteiligung eines Lehrenden und in offenen Lernumgebungen statt. Offene Lernumgebungen sind charakterisiert durch die Nutzung verschiedenster Anwendungen und Endgeräte, durch die Verwendung von digital verfügbaren Wissens- und Lernressourcen, durch ein Lernen an verschiedenen Orten und in verschiedenen Zusammenhängen sowie durch ein Lernen alleine oder in dynamisch gebildeten und wieder aufgelösten Gruppen.

Im informellen Lernen muss der Lernende¹ seinen Lernprozess selbst steuern und organisieren; er muss geeignete Anwendungen, Lernressourcen und Lernpartner auswählen, sich sogar selbst die Lernziele definieren und seinen Lernfortschritt kontrollieren. Damit treten neben die eigentliche, zentrale Aufgabe des Lernens weitere damit im Zusammenhang stehende Tätigkeiten und Herausforderungen. Diese Tätigkeiten übernehmen in formalen und non-formalen Lernformen die Bildungsinstitution und die Lehrenden. In informellen Lernformen gibt es eine solche Unterstützung nicht.

1.2 Zielsetzung

Die in offenen Lernumgebungen von den Lernenden verwendeten Anwendungen wurden häufig nicht für eine Nutzung zu Lernzwecken gestaltet sondern für abweichende Anwendungsbereiche. So werden beispielsweise Wikis oder Blogs verwendet, die ursprünglich für die Sammlung von Wissen und Erfahrungen bzw. als Onlinetagebuch konzipiert wurden. Die verwendeten Anwendungen können daher den Lernprozess oft nicht durchgängig optimal abbilden. Diese Tatsache und die fehlende Unterstützung der Lernenden in informellen Lernformen innerhalb offener Lernumgebungen stellen hohe Anforderungen an die Lernenden. Diese Anforderungen resultieren auch aus der Notwendigkeit die Anwendungen bedienen zu können und die Normen und Praktiken Ihrer Verwendung zu kennen, was häufig unter dem Begriff *Digital Literacy* zusammengefasst wird. [MES13] Zudem ergeben sich diese Anforderungen aus der unüberschaubaren Menge an verfügbaren Wissensquellen und unterschiedlichen Möglichkeiten zu lernen. Der Lernende muss sich selbständig Wissensquellen suchen, diese bewerten und bearbeiten. Technologiegestützte Lernanwendungen, die für verschiedene Lernszenarien geeignete Funktionen bereitstellen und an die Bedürfnisse und Eigenschaften des einzelnen Lernenden angepasste Funktionen innerhalb dieser Lernanwendungen, können eine teilweise Unterstützung bieten, die sonst durch einen Lehrenden übernommen wird.

¹ In dieser Schrift wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

Zielsetzung dieser Arbeit ist es zum einen, im Sinne gestaltungsorientierter Forschung, Konzepte für neuartige, technologiegestützte Lernanwendungen zu entwerfen und zu überprüfen. Auf Grundlage dieser Konzepte können Anwendungen implementiert werden, die den Lernenden für spezifische Lernszenarien geeignete Funktionen zur Verfügung stellen und ein Mehrwert gegenüber vorhandenen Anwendungen bieten. Zum anderen sollen sogenannte Adaptionsmechanismen zur Unterstützung des individuellen Lernenden in seiner aktuellen Lernaufgabe konzipiert und evaluiert werden. Diese Adaptionsmechanismen sind Teil einer technologiegestützten Lernanwendung. Mit Ihrer Hilfe können einzelne Funktionen der Lernanwendung sich automatisch an die spezifischen Bedürfnisse des jeweiligen Lernenden anpassen.

1.3 Beiträge und Aufbau der Arbeit

Adaptivität innerhalb von Lernanwendungen ist ein umfangreiches Forschungsfeld, welches bereits seit Mitte der 90er Jahre in unterschiedlichen Formen und mit unterschiedlichen Bezeichnungen betrachtet wird. Der erste Beitrag der Arbeit liegt, im nachfolgenden Kapitel, in der Definition verschiedener Formen von Adaptation im Anwendungsfeld der Lernanwendungen und einer überblicksartigen Beschreibung bestehender Verfahren zur Anpassung von Lernanwendungen und deren Klassifikation.

Kapitel 3 fasst sowohl die Bedeutung informeller Lernszenarien im beruflichen Lernen am Arbeitsplatz als auch die Verwendung offener Lernumgebungen prägnant zusammen und erläutert vertiefend die Notwendigkeit der Realisierung von Adaptionsmechanismen als Bestandteil heutiger und zukünftiger technologiegestützter Lernanwendungen.

Nachfolgend werden zwei konkrete, häufig anzutreffende Szenarien des informellen Lernens am Arbeitsplatz vertieft betrachtet. Das erste vertieft betrachtete Szenario, in Kapitel 4 dargestellt, ist das des sogenannten Ressourcen-basierten Lernens. In dieser Lernform sucht der Lernende eigenständig nach digital verfügbaren Lernressourcen und erschließt sich diese selbständig zum Zwecke des Lernens. Der wissenschaftliche Beitrag dieses Kapitels liegt zum einen in der Vorstellung eines auf Basis interdisziplinärer Überlegungen entwickelten Konzeptes zur Gestaltung von neuartigen Lernanwendungen, welche die verschiedenen Aufgaben innerhalb dieser Lernform unterstützen. Dieses Konzept wurde ergänzend in einer umfangreichen Lernanwendung implementiert und in der Praxis der beruflichen Weiterbildung erprobt. Zum anderen wurden mit vier verschiedenen Verfahren zur Empfehlung von Lernressourcen im Ressourcen-basierten Lernen Adaptionsmechanismen konzipiert, die in die Lernumgebung integriert und evaluiert wurden.

Kapitel 5 beschreibt das zweite detailliert betrachtete Szenario. Es handelt sich dabei um den situativen Wissenserwerb im Arbeitskontext unter besonderer Berücksichtigung des Erfahrungswissens. Auch hier liegt ein Beitrag in der Bereitstellung von Konzepten für neuartige, mobil nutzbare Lernanwendungen. Die allgemeinen Konzepte wurden in einer neuen Lernanwendung unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen von Servicetechnikern implementiert und von Servicetechnikern im Kraftfahrzeug-Sektor erprobt. Als weiterer Beitrag wurde ein Verfahren zur Sensordaten-basierten Bestimmung der Aktivität der Nutzer der Lernanwendung entwickelt. Dieses Verfahren wurde anhand der Bestimmung der Aktivität der Servicetechniker evaluiert. Die Information über die Aktivität der Nutzer dient in der konkreten Lernanwendung dazu, die Kommunikation zwischen den Nutzern adaptiv an deren jeweilige Situation anzupassen.

Zum Abschluss der Arbeit werden weitere Potenziale der Adaptation von Lernanwendungen vorgestellt und aktuelle Forschungsstränge aufgezeigt.

2 Adaptationsmechanismen für Lernanwendungen

Technologiegestütztes Lernen bezeichnet Lernen unter Nutzung von informationstechnischen Lösungen. Häufig werden bestehende technische Lösungen, seien es Endgeräte wie der PC oder das Smartphone oder Softwareanwendungen wie der Browser, eine Wiki-Anwendung oder eine Suchmaschine, auch für Lernzwecke genutzt. Daneben werden seit der Verfügbarkeit von PCs in den 1990er Jahren gezielt Lernanwendungen entwickelt, um von Lernenden (und Lehrenden) im Lernen genutzt zu werden.

Zielsetzung von Lernprozessen ist in der Regel ein Wissens- oder Kompetenzerwerb. Lernen bezeichnet dabei den Prozess hin zu diesem Ziel des Erwerbs von Wissen- oder Kompetenzen, die dem Lernenden dann über einen längeren Zeitraum zur Verfügung stehen sollen. Daneben findet sich eine Form des Wissenserwerbs auch in Situationen, in denen Wissen akut benötigt wird und nicht zwingend über einen längeren Zeitraum zur Verfügung steht. Dementsprechend würde es sich dann nicht um Lernen im engeren Sinne handeln. Diese Unterscheidung ist in der Realität schwierig präzise vorzunehmen und sie ist für diese Arbeit nicht von grundlegender Bedeutung. Im Nachfolgenden wird der Begriff *Wissenserwerb* verwendet, wenn eher davon ausgegangen wird, dass das Wissen nicht über einen längeren Zeitraum zur Verfügung steht, bzw. stehen muss, und der Begriff *Lernen*, wenn dies der Fall ist.

Adaptationsmechanismen wird in verschiedenen aktuellen Studien eine hohe Bedeutung bei der Gestaltung von Lernanwendungen beigemessen. In [Woo10] wird beispielsweise die folgende Vision vorgestellt:

„We envision that by 2030, environments will provide truly individualized learning (optimized for the individual) capable of being completely adaptive and adaptable to a sufficiently complete representation of the learner (user model) in order to deliver the most optimized learning experience.“ [Woo10]

Die etablierte Expertenstudie NMC Horizon Report Higher Education [NMC16], in seiner Auflage von 2016, nennt Adaptives Lernen im Zusammenhang mit Learning Analytics als eine von sechs wichtigen technologischen Entwicklungen. Im BMBF Foresight Zyklus [ZHB+15] wird bezüglich des Lernens und Arbeitens in einer smarten Welt erwartet, dass „... Algorithmen zunehmend die Steuerung und Handhabung von Lernprozessen übernehmen.“ [ZHB+15, S. 172] In einer selbst durchgeführten Umfrage [RDB16] sehen sechs von zwölf Experten in der Adaptivität von Lernanwendungen eine bedeutsame Forschungsherausforderung bei der Gestaltung von Lernanwendungen für Lernende im Zusammenhang mit der Digitalisierung von Produktions- und Geschäftsprozessen (Industrie 4.0).

Im Folgenden werden zunächst verschiedene grundlegende Begriffe definiert und mögliche Formen der Adaptation in Lernanwendungen vorgestellt. Bestehende Arbeiten zur Adaptation von Lernanwendungen und deren Klassifikation sind Gegenstand des zweiten Teils dieses Kapitels.

2.1 Formen der Adaptation von Lernanwendungen

Will man verschiedene Formen der Adaptation von Lernanwendungen unterscheiden, so ist zunächst einmal ein Verständnis notwendig, was Lernanwendungen sind und welche Funktionalitäten solche Lernanwendungen den Lernenden zur Verfügung stellen.

Definition 1: Lernanwendungen sind informationstechnische Systeme, die verwendet werden, um zu lernen oder Wissen zu erwerben.

Die Funktionen einer Lernanwendung sind in der Regel abhängig vom Szenario, in dem die Lernanwendung Verwendung finden soll und von der jeweiligen Lerntheorie beziehungsweise dem didaktischen Konzept, das der Gestaltung der Lernanwendung zu Grunde liegt. Zentrales Element sehr vieler Lernanwendungen ist die Funktion der Bereitstellung von Lernressourcen. Lernressourcen im Sinne dieser Arbeit sind digitale Ressourcen, die zum Zwecke des Lernens mit Lernanwendungen genutzt werden [RBH+05]. Sie können in verschiedenen Medienformaten vorliegen, beispielsweise als Text-Bildkombination, als Audio oder Video und verschieden umfangreich sein.

Im Bereich des kollaborativen Lernens findet man Funktionen wie die Bildung von Lerngruppen oder die Verteilung von Aufgaben und Rollen, die die Lernenden innerhalb der kollaborativen Lernphase übernehmen. In Kollaborationsskripten zur Steuerung kollaborativen Lernens sind fünf Basiskomponenten (Teilnehmer, Gruppen, Aktivitäten, Rolle, Ressourcen) und sechs wiederkehrende Mechanismen (Formation, Verteilung, Wiederholung, Traversal, Rotation und Fading) zu finden [KWD+07]. Die folgende Abbildung 1 zeigt häufig zu findende Funktionen von Lernanwendungen, die einem Nutzer zur Verfügung stehen. Neben diesen lernspezifischen Funktionen verfügen Lernanwendungen über zusätzliche administrative Funktionen, wie eine Nutzer- und Rechteverwaltung, welche aber für die Adaptation von Lernanwendungen nicht relevant sind.

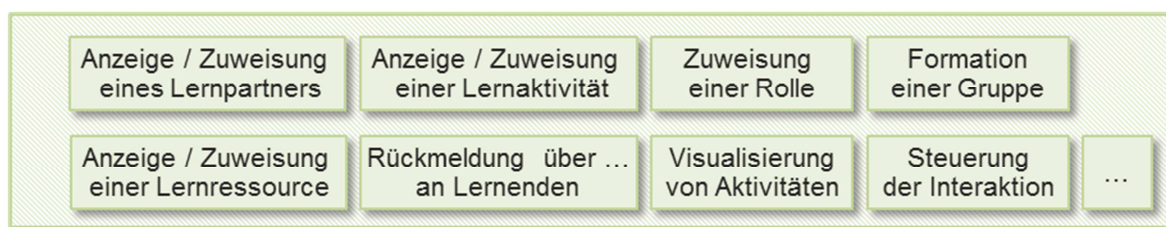


Abbildung 1: Typische Funktionen einer Lernanwendung

Die meisten dieser Funktionen bezeichnen Operationen, die auf Objekte angewendet werden. In der Funktion *Bereitstellung von Lernressourcen* sind die Objekte eben diese *Lernressourcen*, in der Funktion *Zuweisung eines Partner* ist das verwendete Objekt ein anderer *Nutzer*.

Die Adaptation einer Lernanwendung beeinflusst nun diese Funktionen einer Lernanwendung und kann wie folgt definiert werden.

Definition 2: Adaptation einer Lernanwendung ist die Anpassung der von einer Lernanwendung zur Verfügung gestellten Funktionen oder der von den Funktionen verwendeten Objekte an die Bedürfnisse oder Eigenschaften des Lernenden als Nutzer der Lernanwendung.

Adaptation bedeutet also, dass eine oder mehrere Funktionen einer Lernanwendung angepasst werden. Im Allgemeinen kann sich die Anpassung dabei beziehen auf:

1. die Verfügbarkeit einer Funktion für einen Nutzer, die dieser auswählen kann, beispielsweise die Anzeige von optional durch den Nutzer durchführbaren Lernaktivitäten,
2. die Aktivierung einer Funktion, die ein Nutzer zwingend ausführen muss, beispielsweise eine Eingabeaufforderung zur Steuerung der Interaktion,
3. die Objekte, auf der die jeweilige Funktion Operationen ausführt, beispielsweise die Auswahl einer oder mehrere konkreter Lernressourcen aus der Menge der verfügbaren Lernressourcen oder die Auswahl eines konkreten Lernpartners aus der Menge der potenziellen Lernpartner.

Adaptionsmechanismen sind damit insbesondere die *Auswahl* und *Komposition* von Funktionen und Objekten, die nun beeinflussen, welche Funktionen auf welchen Objekten dem Benutzer zur Verfügung stehen.

Damit ergibt sich insgesamt für die Objekte, Operatoren und Adaptionsmechanismen:

- Typische Objekte sind Lernressourcen, Lernaktivitäten, Interaktionen, Lernpartner, Rollen, Gruppen und Kommunikationsmedien.
- Typische Operatoren sind Anzeige, Zuweisung, Formation, Steuerung, Visualisierung und Rückmeldung.
- Typische Adaptionsmechanismen sind Auswahl und Komposition, insbesondere Sequenzierung.

Bei der Adaptation kann zusätzlich zwischen dem Grad der Automatisierung innerhalb der Adaptation unterschieden werden. Diese kann zwei Ausprägungen annehmen: die Adaptivität und die Adaptierbarkeit. In Erweiterung der Definitionen in [BTK07], die sich primär auf eine Adaptation des Lerninhaltes beziehen, kann man Adaptivität und Adaptierbarkeit wie folgt definieren:

Definition 3: Adaptivität bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, hier einer Lernanwendung, sich (zur Laufzeit) automatisch an die Bedürfnisse oder die Eigenschaften des Nutzers, hier des Lernenden, anzupassen.

Definition 4: Adaptierbarkeit bezeichnet die Möglichkeit eines Nutzers, hier des Lernenden, das System, hier die Lernumgebung, an seine aktuellen Bedürfnisse oder seine Eigenschaften anzupassen, indem er aktiv Auswahlentscheidungen trifft.

In der Praxis liegt der Grad der Automatisierung häufig zwischen diesen extremen Ausprägungen. Die Akzeptanz der Benutzer ist zudem oftmals abhängig vom Grad der Automatisierung [Kla03].

Die zuvor stehenden Definitionen verlangen als Voraussetzung der Adaptation ein Wissen über die Bedürfnisse oder Eigenschaften des Lerners. Abhängig von diesen Informationen erfolgt dann eine Adaptation der Lernanwendung, wie in Abbildung 2 dargestellt.

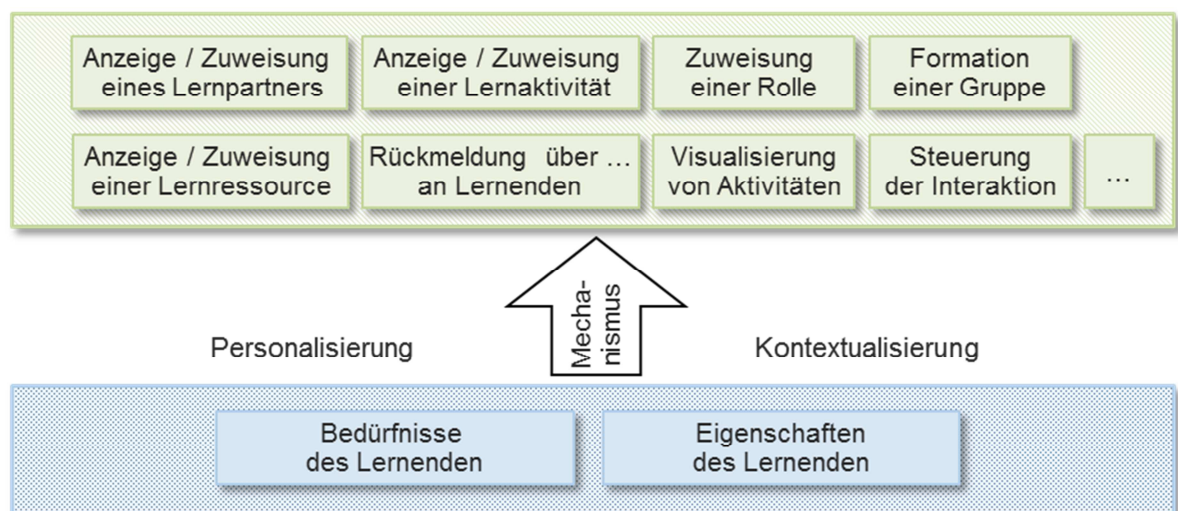


Abbildung 2: Adaptation auf Basis der Kenntnis von Lernbedürfnissen und -eigenschaften

Dementsprechend gehen Verfahren zur Adaptation von Lernanwendungen immer auch einher mit Verfahren zur Bestimmung der Bedürfnisse und Eigenschaften der Lernenden. Diese Verfahren lassen sich unterscheiden in solche, die physikalische Sensoren verwenden um Daten über den Lernenden zu erheben, die dann ausgewertet werden, und solche, die auf anderem Wege die zur Adaptation notwendigen Informationen erheben. In Anlehnung an [AM00] lässt sich dann definieren:

Definition 5: Kontextualisierung ist eine Form der Adaptation in welcher Informationen über den Lernenden, insbesondere seine Bedürfnisse und Eigenschaften, bestimmt werden. Die Informationsbestimmung erfolgt auf Basis von Daten, welche mittels physikalischer Sensoren erhoben werden.

In Abgrenzung dazu lässt sich definieren:

Definition 6: Personalisierung ist eine Form der Adaptation, in welcher Informationen über den Lernenden, insbesondere seine Bedürfnisse und Eigenschaften, bestimmt werden. Diese Informationen werden interaktiv direkt beim Lernenden erfragt oder bestimmt auf Basis von Daten, welche das bisherige Lernverhalten des Lernenden innerhalb von Lernanwendungen protokollieren.

Die Auswertung der in der Kontextualisierung und Personalisierung verwendeten Daten zum Zwecke der Adaptation kann dann logisch unmittelbar in der Lernanwendung selbst erfolgen. Alternativ können die aus den Daten abgeleiteten Informationen über Bedürfnisse und Eigenschaften des Lernenden gespeichert werden, so dass der Adaptationsmechanismus darauf zugreifen kann, vgl. Abbildung 3.

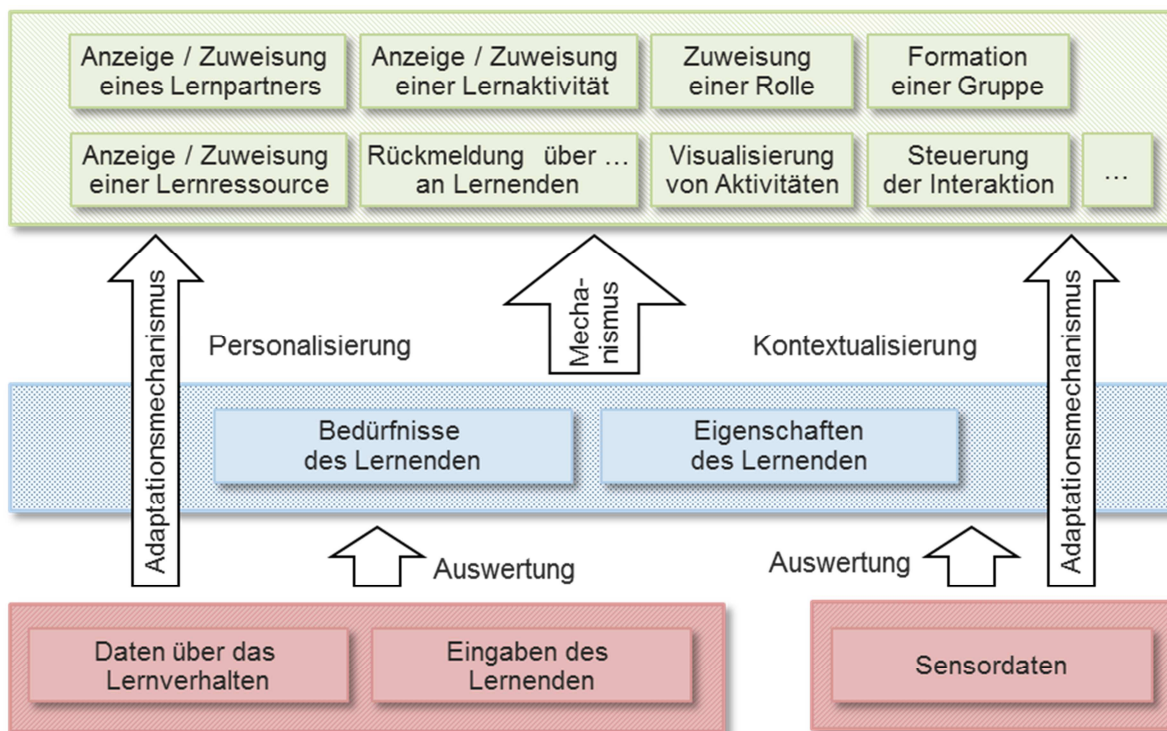


Abbildung 3: Personalisierung und Kontextualisierung als Formen der Adaptation

2.2 Bestehende Verfahren zur Adaptation von Lernanwendungen

Mit der Adaptation von Lernanwendungen beschäftigt sich die Forschung in der Erziehungswissenschaft und in der Informatik schon seit vielen Jahren. Hier ist zunächst der Bereich der Intelligenten Tutoriellen Systeme als Anwendungsfeld der Künstlichen Intelligenz zu nennen. Die Sammlung und Auswertung von Daten über das Lernverhalten und deren Nutzung, unter anderem zum Zwecke der Adaptation von Lernanwendungen, sind Gegenstand der Bereiche Learning Analytics und Educational Data Mining. Im Bereich des mobilen und ubiquitären Lernens werden hingegen primär Sensordaten verwendet, um Lernanwendungen zu adaptieren.

Wichtige Entwicklungen in den drei genannten Bereichen werden nachfolgend zusammenfassend beschrieben und den im vorherigen Abschnitt definierten Adaptationsformen Kontextualisierung bzw. Personalisierung zugeordnet.

2.2.1 Adaptive Hypermedia Systeme und Intelligente Tutorielle Systeme

Historisch eine der ersten Entwicklungen zur adaptiven Bereitstellung von Lerninhalten sind die sogenannten Adaptiven Hypermedia Systeme (AHS) [Bru01]. Diese Systeme beobachten das Eingabe- und Navigationsverhalten des Benutzers innerhalb von Hypermedia-Dokumenten, seit 1996 sind dies in der Regel HTML-Dokumente, und bilden daraus ein Benutzermodell. Dieses Modell speichert unter anderem die Ziele, Präferenzen und das Wissen des individuellen Nutzers und wird für verschiedene Formen der Adaptation verwendet. [Bru01] unterscheidet diese Formen in adaptive Navigationsunterstützung und adaptive Präsentation der Dokumenteninhalte. In der adaptiven Navigationsunterstützung werden die von einem betrachteten Dokument ausgehenden Links auf andere Dokumente individuell für den Nutzer bestimmt. Die dem Benutzer angezeigten Inhalte eines Hypermedia-Dokumentes oder deren mediale Repräsentation sind Gegenstand der adaptiven Präsentation. Diese in verschiedenen Anwendungsbereichen nutzbaren Systeme wurden immer schon für Lernszenarien verwendet. [BES98, BH07].

Intelligente Tutorielle Systeme (ITS) wurden mit der Zielsetzung entwickelt, dem individuellen Lernenden computerbasiert die bestmögliche Unterstützung bei einer Problemlösung zu geben [CKA97, Van06]. An Stelle des Lehrenden tritt das Tutorielle System. Dieses stellt dem Lernenden personalisiert Aufgaben, die der Lernende am System bearbeitet. Zusätzlich gibt das System dem Lernenden verschiedenartiges Feedback bezüglich seines Lernfortschritts. Nicht zwingend stellen Intelligente Tutorielle Systeme das zur Bearbeitung der Aufgabe benötigte Lernmaterial zur Verfügung [Bru00]. Grundlage der Adaptation in Intelligenten Tutoriellen Systemen ist, wie bei Adaptiven Hypermedia Systemen auch, die Verfügbarkeit von Benutzermodellen. Sie werden hier zumeist Lernermodelle genannt. Zusätzlich gibt es in Intelligenten Tutoriellen Systemen ein Domänenmodell, in dem das Vorgehen des Experten bei der Problemlösung in der Domäne formalisiert dargestellt ist. Über einen Abgleich der Problemlösung des Lernenden mit dem Domänenmodell erfolgt dann die Bestimmung, ob eine Rückmeldung erfolgt und welche Rückmeldung an den Lernenden notwendig ist [Woo08]. In welcher Form die Rückmeldung gestaltet wird, wird häufig über den Einbezug eines pädagogischen Modells bestimmt [CKA97]. Eingesetzt werden häufig Verfahren des Maschinellen Lernens [Woo08] mittels derer ein Abgleich von Problemlösung und Modell erfolgt und die Form der Rückmeldung bestimmt wird. Aus der Notwendigkeit der Modellbildung ergibt sich die Nutzung Intelligenter Tutorieller Systeme in eng begrenzten Anwendungsgebieten, wie in einzelnen Bereichen der Mathematik oder der Informatik.

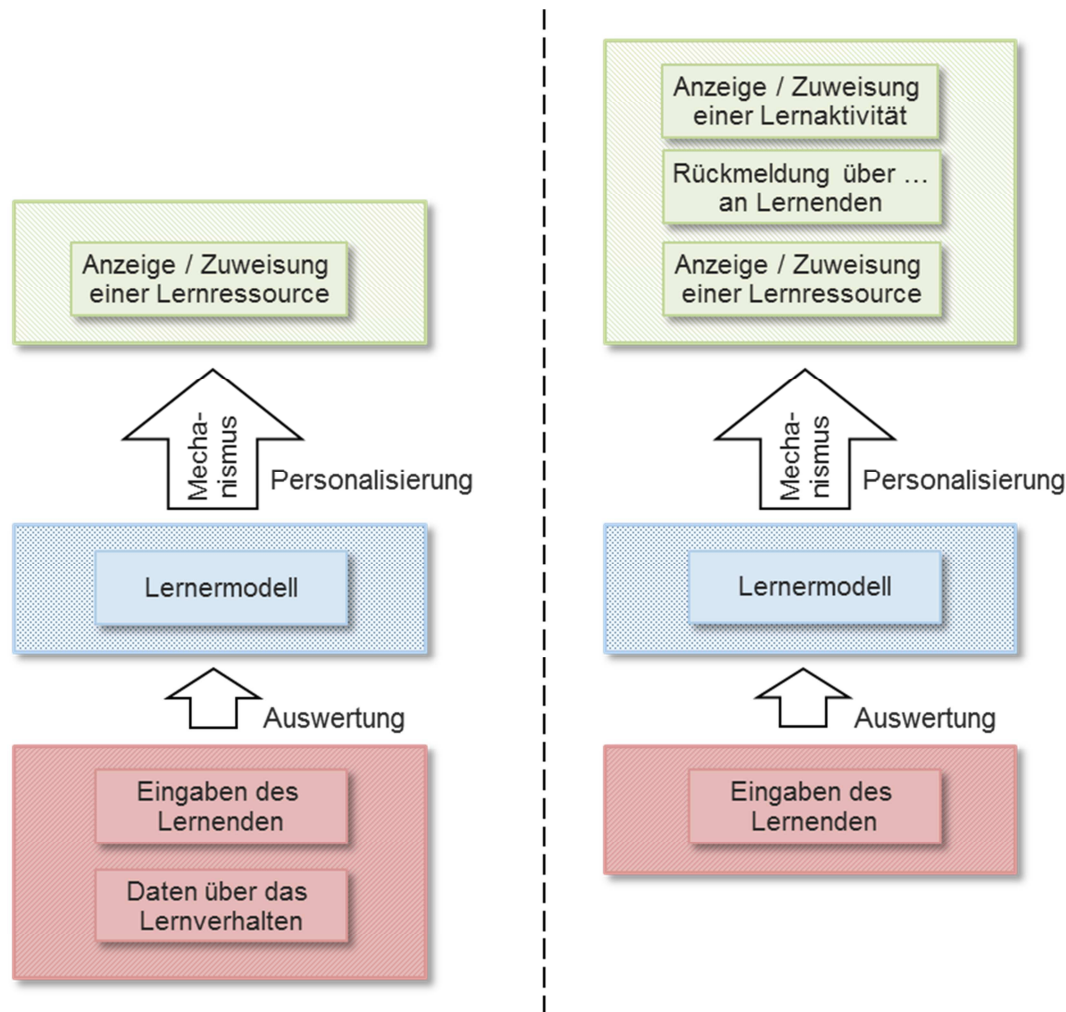


Abbildung 4: Adaptation in AHS (links) und ITS (rechts)

Intelligente Tutorielle Systeme und Adaptive Hypermedia Systeme können dementsprechend, wie in Abbildung 4 gezeigt, der Personalisierung als Form der Adaptation zugeordnet werden. In Adaptiven Hypermedia Systemen werden personalisiert Lernressourcen in Form von Hypertext-Dokumenten oder deren Inhalten ausgewählt. Häufig sammeln Adaptive Hypermedia Systeme umfangreiche Informationen über das bisherige Navigationsverhalten der Lernenden und werten diese Informationen für das Lernermodell aus. In Intelligenten Tutorielle Systemen stehen die Zuweisungen von Aktivitäten in Form von Aufgaben und personalisierte Rückmeldung an den Lernenden im Fokus. In einigen Intelligenten Tutorielle Systemen werden zudem personalisiert Lernressourcen, die das zur Problemlösung notwendige Wissen erläutern, angeboten.

2.2.2 Learning Analytics und Educational Data Mining

In den Forschungsbereichen Learning Analytics (LA) und Educational Data Mining (EDM) werden ebenfalls Daten über die Nutzung von Lernanwendungen durch den Lernenden gesammelt und zur Auswertung aggregiert. Eine weitere Datenbasis, neben den Lernanwendungen selbst, sind Daten aus externen Anwendungen über die Leistung der Lernenden, beispielsweise gemessen in Noten oder Durchfallquoten. In der Regel erfolgt keine Beschränkung auf eine bestimmte Form von Lernanwendungen, sondern es werden beispielsweise Daten aus Lernplattformen, aus Testplattformen oder aus Intelligenten Tutoriellen Systemen ausgewertet. Nach [SV12] ist das primäre Ziel von EDM, aus den gesammelten Daten Muster zu extrahieren, um anhand derer ein besseres Verständnis über das Lernerverhalten und die Wirksamkeit von Lernszenarien und Lernanwendungen zu bekommen. Für Learning Analytics wird die Zielsetzung in [SF12] sehr ähnlich formuliert, als Verständnis und

Optimierung des Lernens und der Umgebungen in denen Lernen erfolgt. Die Lernszenarien, die Gegenstand von Educational Data Mining sind, beschränken sich nicht auf solche, die Lernanwendungen verwenden, sondern es sind explizit auch traditionelle Präsenzlehr- und -lernformen eingeschlossen. In diesem Fall werden beispielsweise Daten aus administrativen Systemen verwendet.

Bei der Auswertung der Daten können verschiedenste Verfahren zum Einsatz kommen. Oftmals ist die Form der Auswertung abhängig von der Zielsetzung, unter der die Daten ausgewertet werden. In [RV10] werden bestehende Educational Data Mining Arbeiten analysiert und daraus elf Klassen von Zielsetzungen von Educational Data Mining unterschieden. Zu diesen Zielsetzungen zählen die Visualisierung von Daten zum Zwecke der Entscheidungsunterstützung, Feedback an die Lehrenden, Empfehlung an die Lernenden, Vorhersagen zur Leistung der Lernenden, aber auch die Erstellung von Lernermodellen. [BI14] formulieren, dass die Forschung im Bereich Educational Data Mining eher die Zielsetzung verfolgt, eine automatisierte Anpassung von Lernanwendungen vorzunehmen, wohingegen Learning Analytics eher eine Information der Lehrenden und Lernenden zum Ziel hat. Die bereitgestellte Information dient dann der Reflexion und darauf basierend der zukünftigen Optimierung des Lernens [DLM+13]. Entsprechend der im vorherigen Kapitel vorgenommenen Definitionen wären Anwendungen von Educational Data Mining eher im Bereich Adaptivität und solche von Learning Analytics eher im Bereich Adaptierbarkeit zu finden. Eine Verfeinerung der Zielsetzung in den Bereichen Informationsbereitstellung für die Lehrenden und Lernenden erfolgt in [DLM+13]. Monitoring des eigenen Verhaltens, auch im Vergleich zu anderen, Awareness und Reflexion spielen dabei eine bedeutende Rolle. Dieser Zielsetzung folgend beschäftigen sich sehr viele Arbeiten mit einer Visualisierung der Ergebnisse der Datenauswertung. Diese Visualisierung findet sich häufig als Funktion der Lernanwendung in Form von sogenannten Dashboards [VDK+13, FB12, HGP+12].

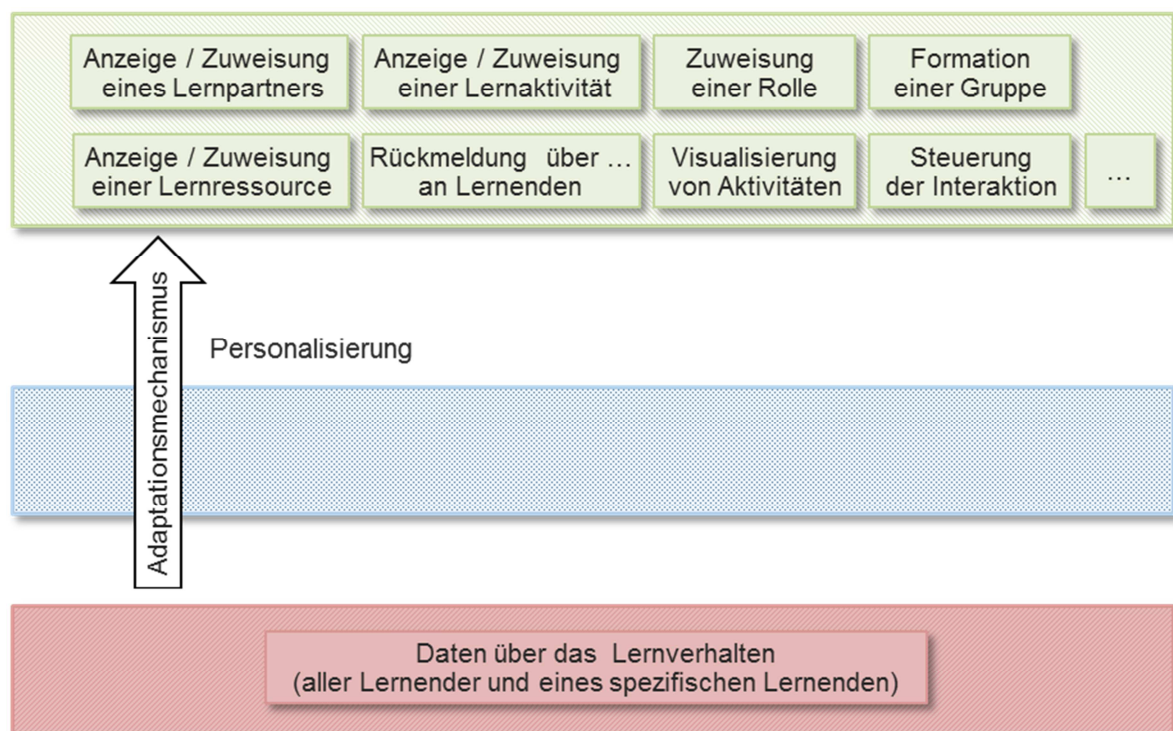


Abbildung 5: Adaptation mittels LA-Verfahren

Folgt man der Unterscheidung zwischen Educational Data Mining und Learning Analytics in [BI14], dann lässt sich Learning Analytics, wie in Abbildung 5 dargestellt, hinsichtlich der zuvor definierten Formen von Adaptation beschreiben. Von zentraler Bedeutung sind die Rückmeldung an Lernende und Lehrende in Form von Daten und deren Visualisierung. Eine explizite Auswertung der Daten zum Zwecke der Generierung von Informationen über den Lernenden und deren Speicherung in einem Lernermodell erfolgt in vielen Arbeiten nicht. Educational Data Mining ist dann, auch in Überein-

stimmung mit den in [RV10] identifizierten vielfältigen Zielsetzungen, entsprechend umfassender, wie in Abbildung 6 gezeigt.

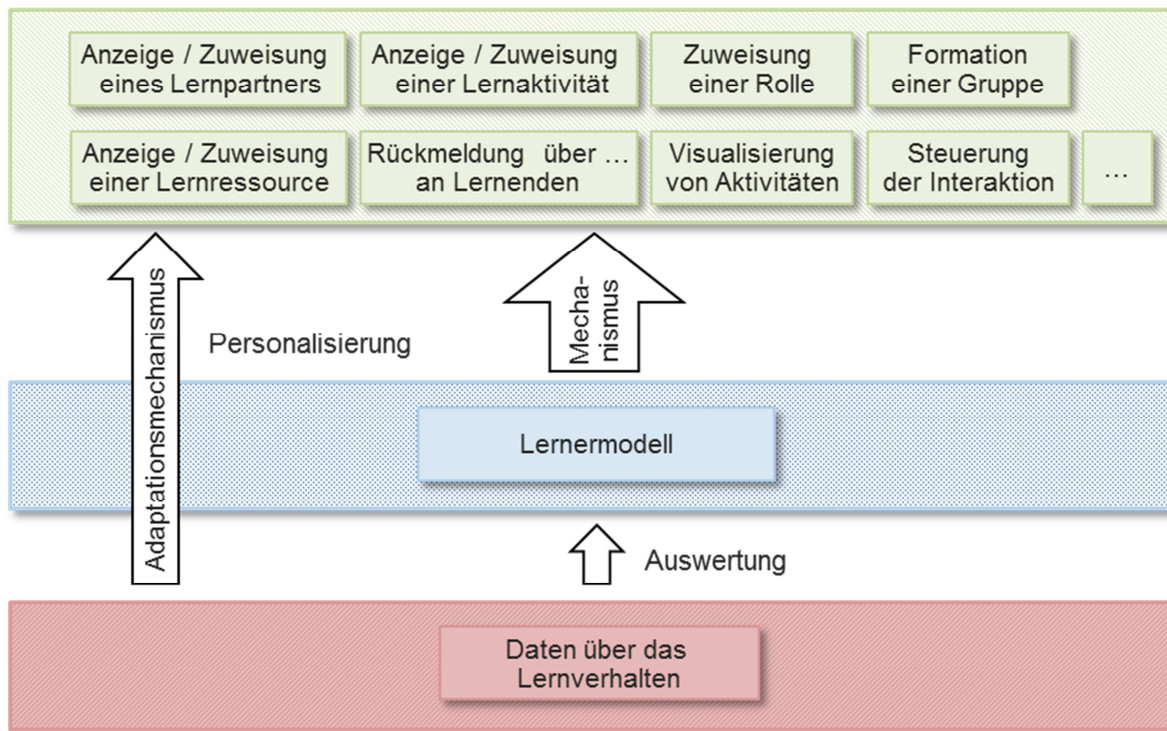


Abbildung 6: Adaptation mittels EDM-Verfahren

2.2.3 Kontextbewusste Lernanwendungen

Die in den letzten Jahren erfolgten Entwicklungen im Bereich der mobilen Endgeräte, der Sensorik und der mobil nutzbaren Netzzugänge ermöglichen umfangreiche neue Anwendungsmöglichkeiten. Diese sind auch im Bereich der Lernanwendungen von hoher Relevanz. Dazu zählen mobiles, ubiquitäres und kontextbewusstes Lernen. Mobiles Lernen ist dadurch charakterisiert, dass der Lernende an verschiedenen Lernorten lernt und dabei Informations- und Kommunikationstechnologien nutzt [LR14, MVG+03]. Kontextbewusste Lernanwendungen zeichnen sich durch die Bestimmung von Informationen über den Kontext des Benutzers und die Adaption der Lernanwendungen an diesen Kontext aus [LR14]. Dabei werden Endgeräte, wie Smartphones, Tablets, am Körper getragene Miniaturcomputer und deren Sensoren verwendet; häufig spricht man dann von ubiquitären Technologien. Deren Einsatz in Lernanwendungen bezeichnet man dann auch als ubiquitäres Lernen [SK05]. Diese Charakterisierung von Lernanwendungen ist nicht ausschließend. Viele Lernanwendungen sind auf Smartphones lauffähig, nutzen dessen Sensorik zur Bestimmung des Kontextes und diesen Kontext zur Adaption der Anwendung. Sie werden von einem Lerner außerhalb eines festen Lernorts verwendet. Sie sind somit ubiquitär, mobil und kontextbewusst zugleich.

Im Zusammenhang der Adaptation ist die Eigenschaft der Kontextbewusstheit von besonderer Bedeutung. Kontext und kontextbewusste Systeme werden in der Wissenschaft unterschiedlich definiert und verstanden. Kontext im Feld der kontextbewussten Systeme wird häufig verstanden als jegliche Information, die verwendet werden kann, um Anwendungen und deren Interaktion mit dem Nutzer anzureichern. [HA08]

Nach einer sehr breiten Definition sind kontextbewusste Systeme solche Systeme, die Kontext verwenden, um dem Nutzer relevante Informationen oder Dienste bereitzustellen, wobei sich die Relevanz an der Aufgabe des Nutzers bestimmt [ADB+99]. [SBS+05] und [Eco09] sehen adaptive und kontextbewusste Lernanwendungen als sehr verwandt an. Sie haben ebenfalls ein breites Verständnis

von Kontext, womit auch die zuvor vorgestellten Anwendungen aus den Bereichen Intelligente Tutorielle Systeme, Adaptive Hypermedia Systeme, Learning Analytics und Educational Data Mining als kontextbewusst einzuordnen wären.

Die Verwendung von Sensoren (seien es physikalische oder Software-basierte) zur Bestimmung von Daten, die zur Anpassung verwendeten werden, betonen [AM00] als Eigenschaft von Kontextbewusstheit. Kontext wird an dieser Stelle gleichzeitig als Antwort auf die fünf W-Fragen: „Wer, Was, Wo, Wann und Warum?“ umschrieben. Lokation, Identität, Zeit und Aktivität nennen [ADB+99] als wichtigste Formen von Kontextinformationen. Informationen über Objekte in der Umgebung der Nutzer, auch in Form von Personen, sowie Veränderungen an diesen Objekten beziehen [ST94] in ihrer Beschreibung von Kontext mit ein.

Physikalische Sensoren erlauben, im Gegensatz zu den zuvor vorgestellten Arbeiten im Bereich Educational Data Mining und Learning Analytics, die man als Software-basierte Sensoren verstehen kann, die Bestimmung von Informationen über die Umgebung des Lernenden. In [RT13] wurden als Kontexttypen, die sich mittels physikalischer Sensoren erhobener Daten bestimmen lassen, identifiziert:

- Lokation: Aufenthaltsort des Benutzers, beispielsweise als Geokoordinate aber auch als Gebäude- oder Rauminformation.
- Objekte in der Umgebung: Objekte, die sich in der Umgebung des Benutzers befinden, sowie die Information über die Richtung und den Abstand zu den Objekten vom Standort des Benutzers aus.
- Personen in der Umgebung: Personen, die sich in der Umgebung des Benutzers befinden, sowie die Information über die Richtung und den Abstand zu den Personen, aber z.B. auch deren Anzahl.
- Umgebungszustand: sich ändernde Parameter, die den Zustand in der Umgebung des Benutzers beschreiben, wie z.B. die Temperatur, Helligkeit oder Lautstärke.
- Aktivitäten: aktuell vom Benutzer durchgeführte Aktivitäten.

[MJL14] nehmen eine andere Aufteilung der Kontexttypen vor und beziehen ebenfalls Informationen über Eigenschaften des Lernenden selbst und seinen Lernfortschritt in den Kategorien *Persönlicher Kontext* und *Szenario Kontext* mit ein. Wesentliche Ergänzung dabei ist der sogenannte *Technische Kontext*.

- Technischer Kontext: Informationen über für den Nutzer verfügbare Infrastrukturen, wie Drucker oder Anzeigegeräte, und über die Eigenschaften des vom Lernenden genutzten Endgerätes, wie die Auflösung des Displays oder die Verfügbarkeit von Ein- und Ausgabeschnittstellen.

Verschiedene Arbeiten zur Adaptation mittels Informationen über den Lernenden selbst und ihren Lernfortschritt waren Gegenstand der vorherigen Beschreibungen von Intelligenzen Tutoriellen Systemen, Adaptiven Hypermedia Systemen, Learning Analytics und EDM. In diesem Abschnitt erfolgt daher eine Beschränkung auf eine beispielhafte Vorstellung von Arbeiten zur Berücksichtigung des mittels physikalischer Sensoren bestimmbarer Kontextes.

Sehr viele kontextbewusste Anwendungen verwenden die *Lokation* als Kontextinformation [ADB+99]. Das gilt auch für kontextbewusste Lernanwendungen. Die Lokation wird häufig zur Auswahl von Lerninhalten genutzt, die den Lernenden präsentiert werden. Beispiele sind insbesondere in der Unterstützung von Exkursionen [RTA11, WCD+07, GBS+10, CHW10] zu finden.

Die Bestimmung von *Objekten* in der Umgebung des Lernenden erfolgt oftmals ebenfalls über die Lokation. Das ist einfach möglich, wenn die Objekte nicht beweglich sind, wie im Fall von Gebäuden. Beispiele für Lernszenarien sind in der Regel ebenfalls Exkursionen. Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung von Objekten besteht in deren Auszeichnung mit einem Code, der dann mittels der Sensorik des Endgeräts des Lernenden bestimmt wird. RF-ID Tags zur Bestimmung der Objekte werden

beispielsweise verwendet in [CH10, HYT+09, OY04]. QR-Codes wurden in [RT13] als Möglichkeit zur Objektbestimmung vorgestellt. Der Ansatz zur Erkennung von Objekten mittels Verfahren der automatischen Objekterkennung (Computer Vision) [RT13, BG09] wurde kaum weiter verfolgt.

Informationen des *technischen Kontextes* adressieren [ZJO12]. Sie empfehlen eine Selektion der für den Benutzer bereitgestellten Lerneinheiten in Abhängigkeit von Parametern wie der Displayauflösung und der Netzverbindung. Die Lerninhalte können abhängig vom technischen Kontext in verschiedene Formate transformiert oder über verschiedene Kommunikationskanäle übermittelt werden [ZO11]. In diesem Zusammenhang sind auch Arbeiten relevant, die, unabhängig vom Inhalt der übertragenen Daten, sich mit der automatischen Anpassung von Web-Content beschäftigen [LL02, Zha07].

Die Kenntnis der *Aktivität* des Lernenden betrachtet [YZH-11] in Form einer Anpassung des Medienformats für Lerneinheiten. So sollte einem Lernenden während er Auto fährt kein Video angezeigt werden und während der Teilnahme an einem Meeting sollte kein Audio verwendet werden. Wie die Aktivität erkannt werden kann, wird dabei nicht erläutert. In eigenen Arbeiten, die in Kapitel 5 detailliert vorgestellt werden, werden die Audio-basierte Aktivitätserkennung und deren Nutzung zur Auswahl des Kommunikationskanals betrachtet.

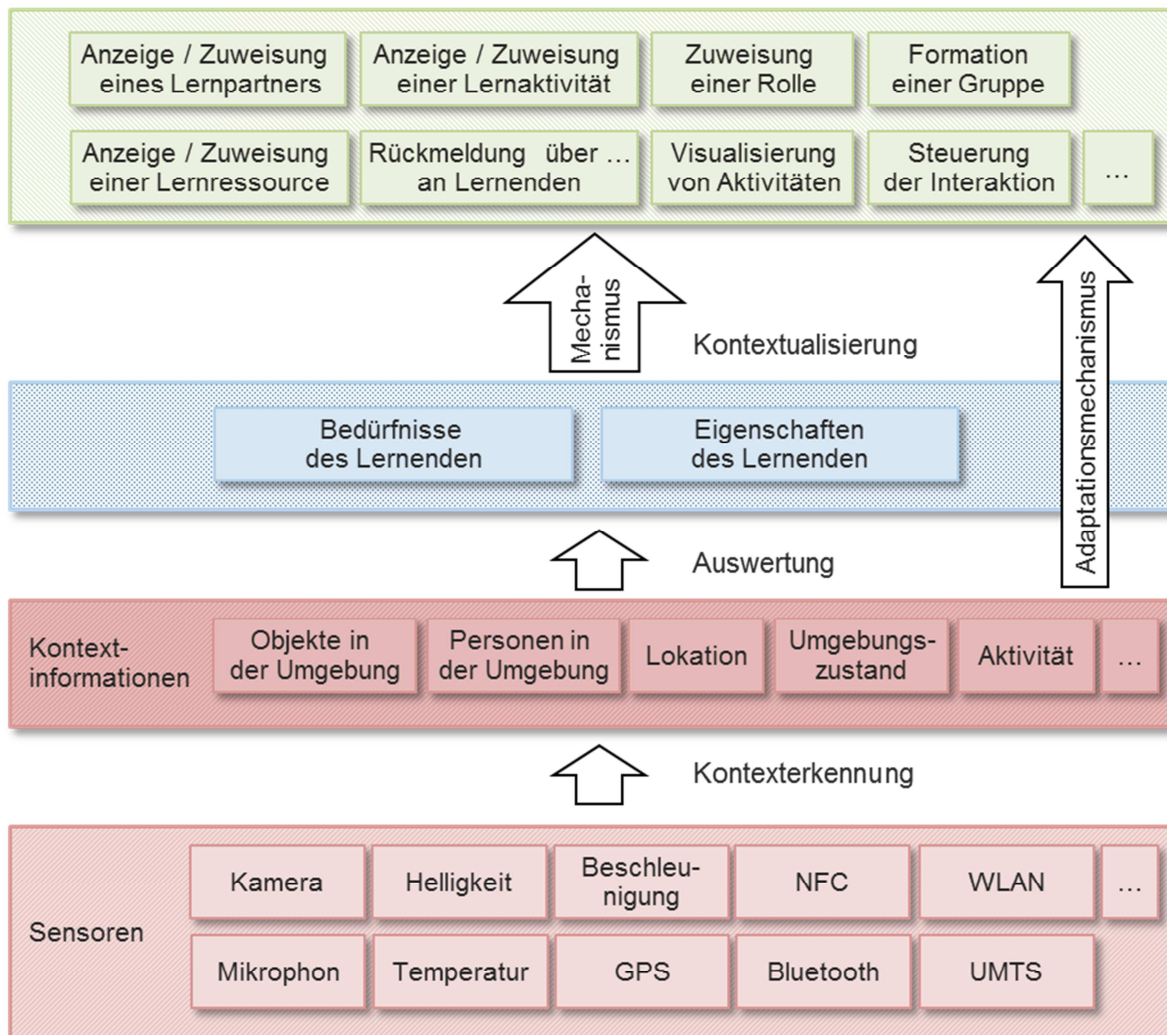


Abbildung 7: Kontextbewusste Lernanwendungen

Für alle genannten Anwendungen gilt, wie in Abbildung 7 dargestellt, dass aus Sensordaten Kontextinformationen ermittelt werden, die dann verwendet werden, um Funktionalitäten der Lernanwendung zu adaptieren. In der Regel werden die Kontextinformationen unmittelbar von der Lernanwendung ge-

nutzt. Eine Explizierung der Bedürfnisse des Lernenden erfolgt eher nicht. Der am häufigsten anzutreffende Adaptationsmechanismus besteht in der Auswahl von Lernressourcen oder Lernaktivitäten, die den Lernenden bereitgestellt beziehungsweise zugewiesen werden. Aktuell erfolgen aber in diesem Forschungsfeld umfangreiche Anstrengungen zur Entwicklung neuer Verfahren der Kontexterkennung und auch der Kontextualisierung von Lernanwendungen. Große Erwartungen gibt es hinsichtlich der Bestimmung der Emotion des Lernalers mittels bio-physiologischer Sensoren, die als Grundlage für eine Adaptation verwendet werden können [Woo10, RC15].

3 Informelles Lernen am Arbeitsplatz

Lernen und Wissenserwerb sind in den vergangenen Jahren enormen Veränderungen unterworfen. Wichtige Auslöser für Veränderungen sind einerseits veränderte Anforderungen an die Frequenz des Lernens und die Lerninhalte und andererseits die Verfügbarkeit immer neuer Technologien und Anwendungen, die zu Zwecken des Lernens und Wissenserwerbs genutzt werden.

Permanente, kurzfristige Aufgabenwechsel und die rasanten technologischen Entwicklungen und gesellschaftlichen Änderungen erfordern zunehmend ein Lernen in Bedarfssituationen. Damit geht, insbesondere im beruflichen Umfeld, die Notwendigkeit einher, fortlaufend und regelmäßig zu Lernen. In Schule, Ausbildung und Studium erworbenes Wissen und erworbene Kompetenzen sind immer weniger ausreichend, um die Anforderungen des Arbeitslebens zu erfüllen. Dieser Entwicklung folgend legen Bildungsinstitutionen zunehmend einen Schwerpunkt auf den Erwerb von Kompetenzen an Stelle des Erwerbs von Wissen. Das für den Arbeitsprozess, zusätzlich zu den Kompetenzen, notwendige Wissen wird oftmals erst während der Berufstätigkeit erworben. Zum Erwerb von arbeitsspezifischen Wissen und Kompetenzen genügt der Besuch von externen Seminarveranstaltungen oft nicht aus [Bün12]. Lernen im Prozess der Arbeit gewinnt schon seit einigen Jahren an Bedeutung [Deh07]. [Me06] nennt diese Art des Lernens „ein Sich-verfügbar-machen von Informationen und Wissensbeständen bei aktuellen Problemen“. Diese Entwicklung wird zudem beschleunigt durch die ubiquitäre Zugreifbarkeit von Informationen, insbesondere im Internet als globale Informationsquelle für einen Wissenserwerb.

Selbstorganisiertes Lernen gilt als geeignete Lernform für Lebenslanges Lernen [Sem00]. Eine Selbstorganisation von Lernen ist dann gegeben, wenn der Lernende aus einer Vielzahl von vorab nicht bestimmten Handlungsoptionen auswählen muss [Kir04, Erp97]. Damit verwandt, aber nicht identisch, ist das selbstgesteuerte Lernen: „Selbstgesteuert ist ein Lernen dann, wenn die Operationen/Strategien, Kontrollprozesse und der Offenheitsgrad vom Subjekt auf ein Ziel hin selbstbestimmt werden. In einzelnen Bereichen wird „selbstgesteuert“ auch weiter gefasst und schließt die Setzung von Lernzielen ein.“ [Kir04, S.85].

Ausgehend von den zuvor vorgestellten Entwicklungen ist wahrzunehmen, dass Lernen und Wissenserwerb tatsächlich zunehmend selbstgesteuert und selbstorganisiert stattfinden. Häufig anzutreffen sind Selbststeuerung und Selbstorganisation in informellen Szenarien. Informelles Lernen, also das Lernen ohne dass ein Lernergebnis im Vorfeld bewusst angestrebt wurde [Deh03] und ohne dass es eine Lehrerrolle gibt [BS14], nimmt immer breiteren Raum ein. Im beruflichen Lernen ist informelles Lernen unter anderem dadurch gekennzeichnet, dass es sich aus Arbeits- und Handlungserfordernissen ergibt. Es folgt häufig der Notwendigkeit, ein Problem zu lösen und wird häufig nicht pädagogisch begleitet [Deh03]. In formalen und nonformalen Lernszenarien, welche durch Bildungsorganisationen organisiert werden oder in beruflicher Fort- und Weiterbildung zu finden sind, wird hingegen in aller Regel ein Lernziel definiert und festgeschrieben. Zudem wird der Lernprozess von der Bildungsinstitution weitgehend bestimmt und es gibt einen oder mehrere Lehrende, die Informationen für den Wissenserwerb auswählen und präsentieren, Lernprozesse durch Feedback begleiten und Kompetenzerwerb befördern. Zur Definition von formaler und nonformaler Weiterbildung siehe [BS14].

In den nachfolgenden Abschnitten werden Aspekte der sich ändernden Gestaltung des Lernens vertieft betrachtet. Aus dieser Betrachtung wird abschließend der Bedarf an Adaptationsmechanismen erläutert.

3.1 Informelles Lernen in offenen Lernumgebungen

Die technologischen Veränderungen haben nicht nur einen Einfluss auf die Notwendigkeit zu Lernen, sondern auch auf die Form wie gelernt wird. Lernen findet zunehmend in offenen Lernumgebungen statt, die charakterisiert sind durch die Nutzung verschiedenster Anwendungen und Endgeräte, die Verwendung von digital verfügbaren Wissens- und Lernressourcen, Lernen an verschiedenen Orten, Lernen in verschiedenen Zusammenhängen sowie Lernen alleine oder in dynamisch gebildeten und wieder aufgelösten Gruppen.

Aufgrund der fehlenden institutionellen Organisation informellen Lernens, haben die Lernenden eine große Freiheit in der Auswahl der Werkzeuge, die sie zum Lernen verwenden. So sind verschiedenste Web-basierte Anwendungen verfügbar, die keine Installation auf dem Arbeitsplatz des Nutzers verlangen und vielfach kostenfrei nutzbar sind. Beispiele für solche zu Lernzwecken genutzten Anwendungen sind der Gruppe zuzuordnen, die häufig auch als Web 2.0 Anwendungen bezeichnet werden. So zählen dazu beispielsweise Wikis, Blogs, Umfrage-Tools, Webkonferenzsysteme, Social Bookmarking-Tools, File-Sharing-Dienste, Forenplattformen und Annotationswerkzeuge [EL12].

Noch vielfältiger als die Werkzeuge sind die für den Wissenserwerb potenziell relevanten Informationen und Lernressourcen im Internet. So stehen dort zunehmend frei zugängliche Lernressourcen (Open Educational Resources) zur Verfügung, die häufig von Lehrenden an Bildungsinstitutionen erstellt werden. Die Verbreitung von Open Educational Resources ist auch politisch gewünscht [UN12]. Eine Form von frei zugänglichen Lernressourcen sind diejenigen, die Bestandteil der sogenannten Massive Open Online Courses (MOOCs) [Ren13] sind. Eine andere Form von in Lernen und Wissenserwerb verwendeten Ressourcen sind von Nutzern erstellte Inhalte. Als Lernmedien werden solche häufig in der Form von Erklärvideos bzw. Videotutorials realisiert [Wol15]. Daneben gibt es eine Vielfalt weiterer Informationsquellen wie Online Publikationen, Online Handbücher oder Online-Enzyklopädien. All diese Quellen bieten eine unüberschaubare Anzahl an Ressourcen für Lernen und Wissenserwerb.

Informelles Lernen und Wissenserwerb erfolgen aber nicht nur durch Beschäftigung mit Lernressourcen, sondern auch durch Interaktion und Beschäftigung mit Anderen. Diese Aussage wird durch die Lerntheorien des Konstruktivismus gestützt. Sogenannte Lern-Communities zeichnen sich beispielsweise durch die Beförderung von Reflexion und kritischem Denken aus [BC99]. Gerade in der beruflichen Praxis nimmt das Lernen von und mit Anderen einen breiten Raum ein. Es ist ein wichtiger Pfeiler der Dualen Berufsausbildung. [Deh03] nennt sechs häufig anzutreffende Formen des Lernens in der Arbeitsumgebung: Unterweisung/Coaching, Qualitätszirkel, Communities of Practice (CoP), Lernstatt (Lernen in der Werkstatt), Lerninseln und Auftragslernen. Die drei Erstgenannten sind eindeutig dem Lernen mit Anderen zuzuordnen.

Über neue Kommunikations- und Kooperationsformen, die von vernetzten Anwendungen im Internet ermöglicht werden, kann in Gruppen über räumliche und zeitliche Grenzen hinweg Information dokumentiert, ausgetauscht und entwickelt und so gelernt werden. Lernen und Wissenserwerb in der Gruppe bleibt also nicht auf die unmittelbare Umgebung des Lernenden beschränkt, beispielsweise die Abteilung eines Mitarbeiters, sondern kann über Standorte und Unternehmensgrenzen hinweg erfolgen. Es bilden sich sogenannte virtuelle Communities [WM04]. Historisch waren Internet-Foren eine sehr früh existierende Form von Communities. Sie bilden noch heute ein zentrales Element vieler virtueller Communities. [WM04] analysieren die Eigenschaften von Communities und heben hervor, dass in virtuellen Communities nicht nur Wissen kommuniziert und genutzt, sondern auch repräsentiert und generiert wird. [LW91] bezeichnen das Lernen in solch sozialer Form unabhängig von der Verwendung der Technologien als *Communities of Practice*. In solchen Communities findet situiertes Lernen durch Kollaboration statt. Die Community bildet einen Raum für Lernen, den die Mitglieder selbst aktiv gestalten. Wichtiges Kennzeichen der *Communities of Practice* nach [LW91] ist, dass deren Mitglieder Praktiker im Beschäftigungsbereich der Community sind und ihre Erfahrungen und Expertise in die Community einbringen und dort mit den anderen Mitgliedern teilen und

diskutieren. Communities sind zudem durch eine Dynamik ihrer Mitglieder gekennzeichnet, die sich einer Community anschließen, sie aber auch wieder verlassen.

3.2 Notwendigkeit von Adaptationsmechanismen in offenen Lernumgebungen

Offene Lernumgebungen, wie sie zuvor beschrieben wurden und am Arbeitsplatz häufig zu finden sind, zeichnen sich durch verschiedenste Eigenschaften aus. Folgende sind besonders markant und für diese Arbeit von Bedeutung:

- In offenen Lernumgebungen besteht eine unüberschaubare Vielfalt an verfügbaren Wissens- und Lernressourcen.
- In offenen Lernumgebungen erfolgt keine Festlegung auf die Verwendung eines Werkzeuges, sondern unterschiedlichste Werkzeuge stehen zur Verfügung und können von den Lernenden verwendet werden.
- In offenen Lernumgebungen ist oftmals nicht festgelegt, welche Personen Mitglieder der Lernumgebung sind und welche Rolle sie dabei einnehmen. Vielmehr bilden sich Lerngruppen oder Communities dynamisch und lösen sich wieder auf. Die Anzahl der potenziellen Mitglieder ist unbeschränkt und ihr Engagement kann stark variieren.
- In offenen Lernumgebungen findet häufig informelles Lernen statt. Es fehlen ein Lehrender und eine professionelle pädagogische Begleitung.

Der Lernende steht in solchen offenen Lernumgebungen also vor einer Vielzahl von Entscheidungen. Er muss beispielsweise Lernressourcen, Lernpartner oder zu verwendende Werkzeuge auswählen. Weiterhin muss er selbst über sein persönliches Engagement im Lernprozess entscheiden und diesen selbst organisieren und reflektieren.

Eine Unterstützung bei diesen Entscheidungen fehlt aufgrund der Abwesenheit eines Dozenten. Sie wäre aber, das zeigt die Erfahrung, in vielen Fällen sinnvoll. Diese Unterstützung könnte teilweise erfolgen in Form einer Anpassung der von einer Lernanwendung zur Verfügung gestellten Funktionen oder der von den Funktionen verwendeten Objekte an die Bedürfnisse oder Eigenschaften des Lernenden, also einer Adaptation.

Unabhängig von der Adaptation, die einzelne Entscheidungen des Lernenden vorwegnehmen kann, bleibt Lernen in offenen Lernumgebungen häufig selbstgesteuert und selbstorganisiert. Selbstgesteuertes Lernen und die dieser Form des Lernens zugrundeliegenden Verarbeitungsprozesse wurden in der Psychologie ausführlich untersucht. Boekarts [Boe99] beispielsweise unterscheidet mit dem kognitiven System, dem motivationalen System und dem metakognitiven System drei Systeme, die Lernende steuern müssen. Die Kompetenz „Selbstgesteuert zu lernen“ als Teil des metakognitiven Systems muss zunächst erworben werden. In [SW06] werden dazu drei Phasen, nämlich vor dem Lernen, während des Lernens und nach dem Lernen unterschieden. In all diesen drei Phasen muss eine Unterstützung der Selbststeuerung ansetzen. Erfolgt eine solche Unterstützung, ergibt sich ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Lernqualität [Ben10]. Beispielhaft sei ein Werkzeug zur Vermittlung von Selbstregulationskompetenzen als Teil einer Lernumgebung genannt. Dieses Werkzeug [SBB+09] erlaubt es den Lernenden, ihre Ziele innerhalb einer selbstgesteuerten Lernphase explizit zu machen und bietet eine Unterstützung durch aktive Aufforderungen zur Reflexion des eigenen Verhaltens, sogenannte Prompts. In dieser Lösung erfolgen die Aufforderungen an die Lernenden zu einem zuvor festgelegten Zeitpunkt. Eine Adaptivität von Scaffolds ist darin nicht realisiert. Eine solche hat sich aber in [ACW+05], in einer Untersuchung des Lernens mit Hypermedia-Dokumenten, als erstrebenswert herausgestellt.

Adaptation in seinen verschiedenen Formen, wie in Kapitel 2.1 dargestellt, kann zusammenfassend verschiedene Potenziale für das Lernen am Arbeitsplatz mit sich bringen. In den folgenden beiden Kapiteln werden zwei typische Szenarien des Lernens und Wissenserwerbs am Arbeitsplatz analysiert und eigene neuartige Konzepte, als Grundlage für die Entwicklung von umfassenden Lernanwendun-

gen vorgestellt. Es wird deren Umsetzung und Erprobung in jeweils einer eigenen Lernanwendung vorgestellt. Des Weiteren werden Konzepte für Adaptionenmechanismen, deren Integration in die eigenen Lernlösungen und deren Evaluation beschrieben.

4 Ressourcen-basiertes Lernen und personalisierte Empfehlungen

Als erstes, häufig anzutreffendes Szenario des selbstgesteuerten Lernens und Wissenserwerbs in offenen Lernumgebungen am Arbeitsplatz wird in diesem Kapitel das Ressourcen-basierte Lernen mittels digitaler Lernressourcen betrachtet. Zunächst wird das Szenario konkretisiert. Nachfolgend werden Konzepte für Lernanwendungen vorgestellt, die den Lernenden in allen Lernprozessschritten unterstützen sollen. Die Konzepte werden beispielhaft in einer Lernumgebung für das Ressourcen-basierte Lernen implementiert. Die Beschreibung von Verfahren zur personalisierten Empfehlung von Lernressourcen bildet den Schwerpunkt dieses Kapitels. Dabei handelt es sich um eine Form der Adaptation, die innerhalb der implementierten Lernumgebung realisiert wurden. Zum Abschluss wird die Problematik der Evaluation von Empfehlungssystemen für Lernanwendungen thematisiert.

Dieses Kapitel fasst Aspekte zusammen, die in verschiedenen Publikationen [[ABR11](#), [ARB+11](#), [ARD+12](#), [ARS11](#), [BLR+11](#), [BR12](#), [BSR+09](#), [DBA+12](#), [DRS11](#), [DSR11](#), [DSR+12](#), [EFR15](#), [EJS+13](#), [ER14](#), [MEG+13](#), [RAD+12](#), [RAD+12b](#), [RBB11](#), [RBP+11](#), [RLS+12](#), [RSB+10](#), [RSF13](#), [SBD+10](#), [SSR+11](#)] detailliert beschrieben sind.

4.1 Ressourcen-basiertes Lernen: Lernen und Wissenserwerb mittels digitaler Ressourcen

Unter Ressourcen-basiertem Lernen lässt sich grundsätzlich jegliche Form des Lernens verstehen, in welcher ein Lernender sich Wissen und Kompetenzen primär mit Hilfe von Ressourcen aneignet, seien sie digital verfügbar oder nicht. Ressourcen-basiertes Lernen unterscheidet sich von Lernformen, in denen ein Dozent den Teilnehmern Lerninhalte vermittelt, darin, dass der Lernende selber die für den Lernzweck genutzten Ressourcen bestimmt. [[RB12](#), [HJ07](#)] Explizit betrachtet wird im Weiteren das Szenario des Ressourcen-basierten Lernens mittels digitaler Ressourcen, welche der Lernende selbst sucht und sich eigenständig erschließt. Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, steht im Web eine Vielzahl von Ressourcen, die für Lernen und Wissenserwerb verwendet werden können, zur Verfügung. Ressourcen-basiertes Lernen beschreibt also nicht das Lernen mittels eines Lehrbuches oder mit Hilfe von Lernmaterialien, die ein Lehrender erstellt oder ausgesucht hat und den Lernenden in strukturierter Form zur Verfügung stellt.

In der beruflichen Praxis ist diese Form des Lernens, insbesondere beim sogenannten Wissensarbeiter, sehr häufig anzutreffen. Wissensarbeit ist gerade dadurch gekennzeichnet, dass die Erfahrungen des Wissensarbeiters zur Bewältigung seiner Aufgaben nicht ausreichen und es notwendig ist, zur Erreichung der Ziele neues Wissen zu erwerben, zu integrieren oder zu entwickeln [[Her02](#)]. So zählen zu den Tätigkeiten eines Wissensarbeiters insbesondere Recherchieren, Strukturieren, Archivieren und Reflektieren [[NG08](#)].

Typische innerhalb des Ressourcen-basierten Lernens durchzuführende Aufgaben zeigt Abbildung 8. Die einzelnen Aufgaben sind zumeist eng verzahnt und jeder Prozessschritt kann sich auf die anderen Prozessschritte auswirken. Sie werden teilweise mehrfach ohne eine vorgegebene Reihenfolge durchlaufen. Ausgehend von einer betrieblichen Aufgabe, die dann zugleich ein Lernziel darstellt, kann eine Planung sowie zu einem späteren Zeitpunkt die Reflexion des Vorgehens und des erreichten Ergebnisses erfolgen.

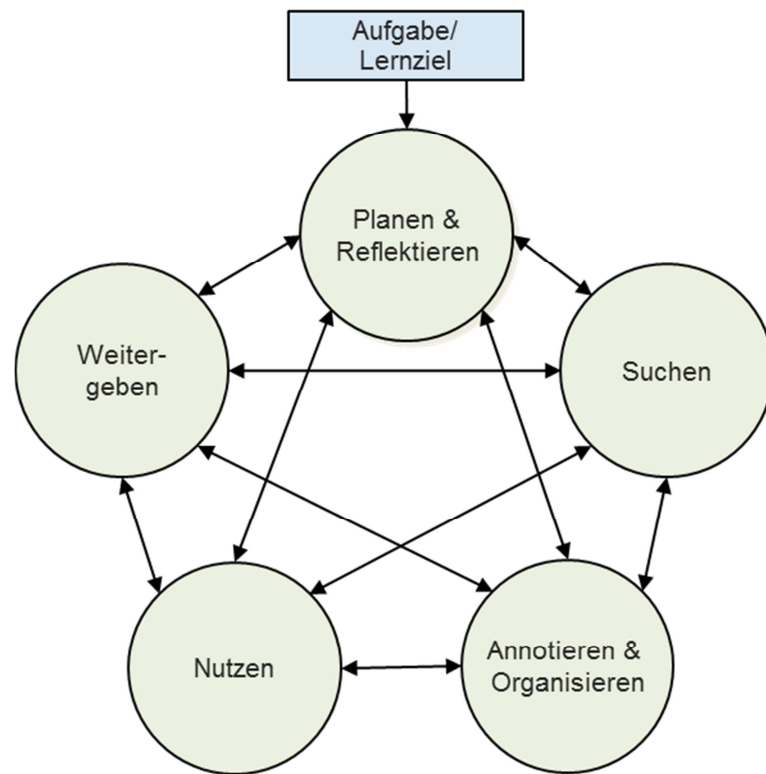


Abbildung 8: Prozessmodell des Ressourcen-basierten Lernens nach [RBB11]

Um den Wissens- oder Informationsbedarf zu decken, sucht der Lernende nach Ressourcen. Er sucht entweder ihm noch unbekannte Ressourcen, beispielsweise im Internet oder auch im Intranet seines Unternehmens, oder solche, die er bereits in der Vergangenheit genutzt hat. Teilaufgaben der Suche sind die Bestimmung der Informationsquelle und die Bewertung der Suchergebnisse hinsichtlich Qualität und Relevanz. Annotieren und Organisieren dienen der strukturierten Ablage der gefundenen Quellen und der Extraktion der relevanten Informationen für eine spätere Nutzung. Sind die Ressourcen in einer Form annotiert und organisiert, die auch für andere verständlich und nutzbar sind, finden auch die Kollegen oder die Community bei eigenen Recherchen diese Ressourcen. So können die Ressourcen und Annotationen geteilt werden. Der Schritt der Nutzung umfasst die eigentliche Lösung der ursprünglichen Aufgabe und kann in ganz verschiedenen Formen erfolgen. Findet das Ressourcen-basierte Lernen nicht individuell, sondern als Teil der Kooperation einer Gruppe oder Community statt, können die erzeugten Ergebnisse ebenfalls an andere Mitglieder der Community weitergegeben werden. [RBB11]

4.2 Konzepte für Lernanwendungen zum Ressourcen-basierten Lernen

Social Bookmarking [HKG08] bezeichnet eine Methode, mit der Recherchen im Internet dokumentiert, die Ergebnisse gesichert und für Andere zugänglich gemacht werden können. Das Anlegen von Lesezeichen, englisch Bookmarks, im Web-Browser ist eine etablierte Methode zur Dokumentation von Webseiten, auf die ein Nutzer häufig zugreift. Wenn nun diese individuellen Lesezeichen anderen Nutzern über eine Internet-Anwendung zugänglich gemacht werden, spricht man von Social Bookmarking. Das Konzept des Social Bookmarkings bildet eine geeignete Grundlage zur Unterstützung des Ressourcen-basierten Lernens, denn die Teilprozesse *Suchen*, *Annotieren & Organisieren* und *Weitergeben* sind durch Funktionen des Social Bookmarkings umsetzbar.

Social Bookmarking Systeme nutzen in aller Regel Schlagworte, Tags, zur Beschreibung der Ressourcen, teilweise auch Metadaten. Aufgrund ihrer Einfachheit werden Tags sehr gerne und in großem Umfang von Benutzern angegeben, womit sie sich von Metadaten unterscheiden [Smi07].

Durch das Taggen der Ressourcen entsteht eine sogenannte Folksonomy, wie in Abbildung 9 an einem sehr einfachen Beispiel gezeigt. *Benutzer 1* hat in diesem Beispiel die *Ressource 2* und die *Ressource 3* mit dem identischen *Tag 3* verschlagwortet.

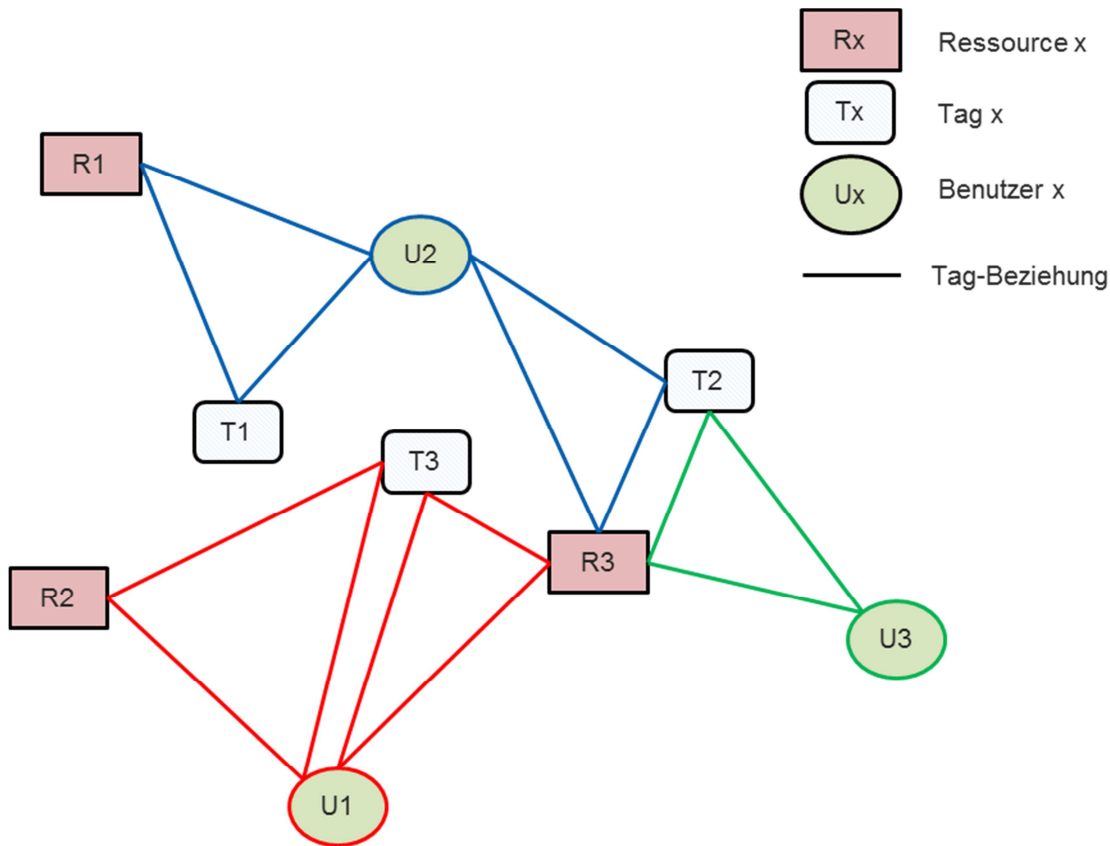


Abbildung 9: Einfache Folksonomy

Zur Erweiterung des Social Bookmings werden nachfolgend das Konzept der *Aktivitäten* und das Konzept des *typisierten Taggens* vorgestellt.

4.2.1 Aktivitäten zur Unterstützung von Planung und Reflektion

Für eine durchgängige Unterstützung des Ressourcen-basierten Lernens ist auch eine Unterstützung des *Planen* und *Reflektieren* notwendig, wozu das Konzept der *Aktivitäten* definiert wurde. Aktivitäten stellen einen eigenen Objekttypen innerhalb einer Lernanwendung dar. Planung und Reflektion erfolgen durch bzw. anhand von Aktivitäten. Im Lernzusammenhang beschreiben Aktivitäten die Aufgabe oder das Lernziel, das der Nutzer verfolgt und wozu er eine Lernanwendung verwendet. Aktivitäten können hierarchisch strukturiert sein und werden nach dem Konzept [ARB+11] wie folgt verwendet:

1. **Planung:** Die Formulierung und hierarchische Strukturierung von Aktivitäten dient der Planung der Aufgabenbearbeitung.
2. **Bearbeitung:** Ressourcen, die im Lernprozess annotiert, organisiert, genutzt und weitergegeben werden, können einer Aktivität zugeordnet werden. Die Bearbeitung von Aktivitäten kann in Gruppen erfolgen. Das bedeutet, dass die Recherche nach und die Verschlagwortung von Ressourcen, die zur Bearbeitung der Aktivität verwendet werden, durch jedes Gruppenmitglied erfolgen kann.
3. **Reflektion:** Die Erfahrungen bei der Bearbeitung der Aktivität können in Textform dokumentiert werden, womit eine Reflexion angeregt wird, bzw. deren Ergebnisse dokumentiert werden. Das kann individuell oder in der Gruppe erfolgen. Ergänzend können die Ergebnisse der Bearbeitung einer Aktivität, sofern sie als digitales Dokument vorliegen, der Aktivität zugeordnet werden.

Während der Bearbeitung werden, wie zuvor definiert, Ressourcen den Aktivitäten zugeordnet. Damit und mit der Hierarchisierung von Aktivitäten bildet sich dann eine erweiterte Ontologie, wie in Abbildung 10 dargestellt. In diesem Beispiel haben *Benutzer 2* und *Benutzer 3* jeweils *Ressource 3* zu *Aktivität 2* zugeordnet. *Aktivität 1* ist eine Teilaktivität von *Aktivität 3*.

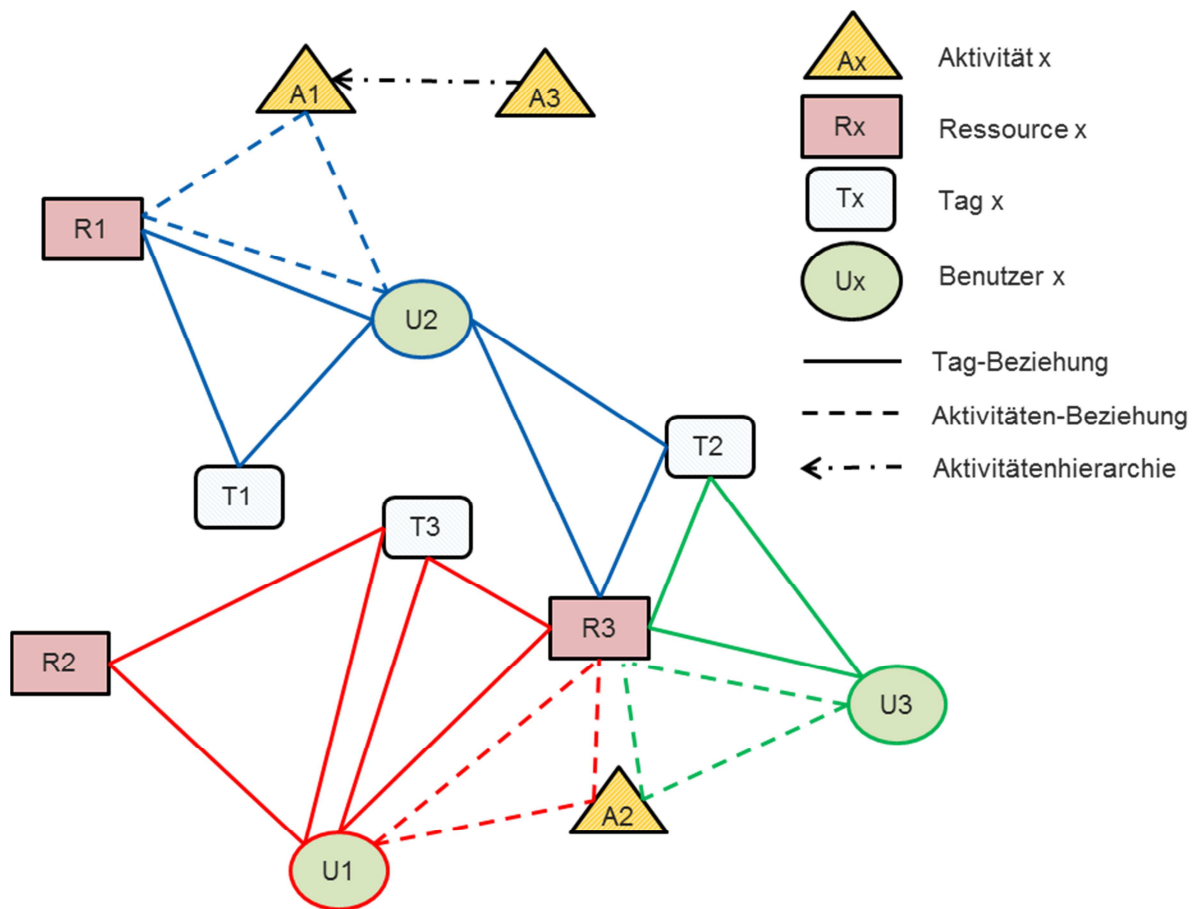


Abbildung 10: Um Aktivitäten erweiterte Folksonomy

4.2.2 Typisiertes Taggen zur Auflösung von Mehrdeutigkeiten und zur Erweiterung der Suchmöglichkeiten

Verschiedene Untersuchungen [BFN+08, MC06] haben gezeigt, dass Tags individuell unterschiedlich verwendet werden und verschiedene Bedeutungen innehaben, was zu Herausforderungen in der Nutzung in einer Gruppe führen kann. Um die Aussagekraft von Tags zu erhöhen, dient das Konzept des typisierten Taggens. Im typisierten Taggen [BSR+09, DBS+09] wird einem Tag ein Typ zugeordnet, wie in Abbildung 11 schematisch dargestellt.

Die Typisierung der Tags erlaubt einerseits die Auflösung von Mehrdeutigkeiten (Synonyme und Homonyme) einzelner Tags und kann andererseits innerhalb einer Lernanwendung zur Filterung von Suchergebnissen nach Typen und zum Browsen verwendet werden. Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass Benutzer unterschiedliche Zugänge zu identischen Ressourcen verwenden. Beispielsweise erinnert sich ein Benutzer an einen Konferenzbeitrag über die Kenntnis des Konferenzorts und des Konferenzacronyms und sucht nach diesen beiden Informationen. Ein anderer Benutzer hingegen erinnert sich an den Namen eines Autors des Beitrags und wird dementsprechend danach suchen.

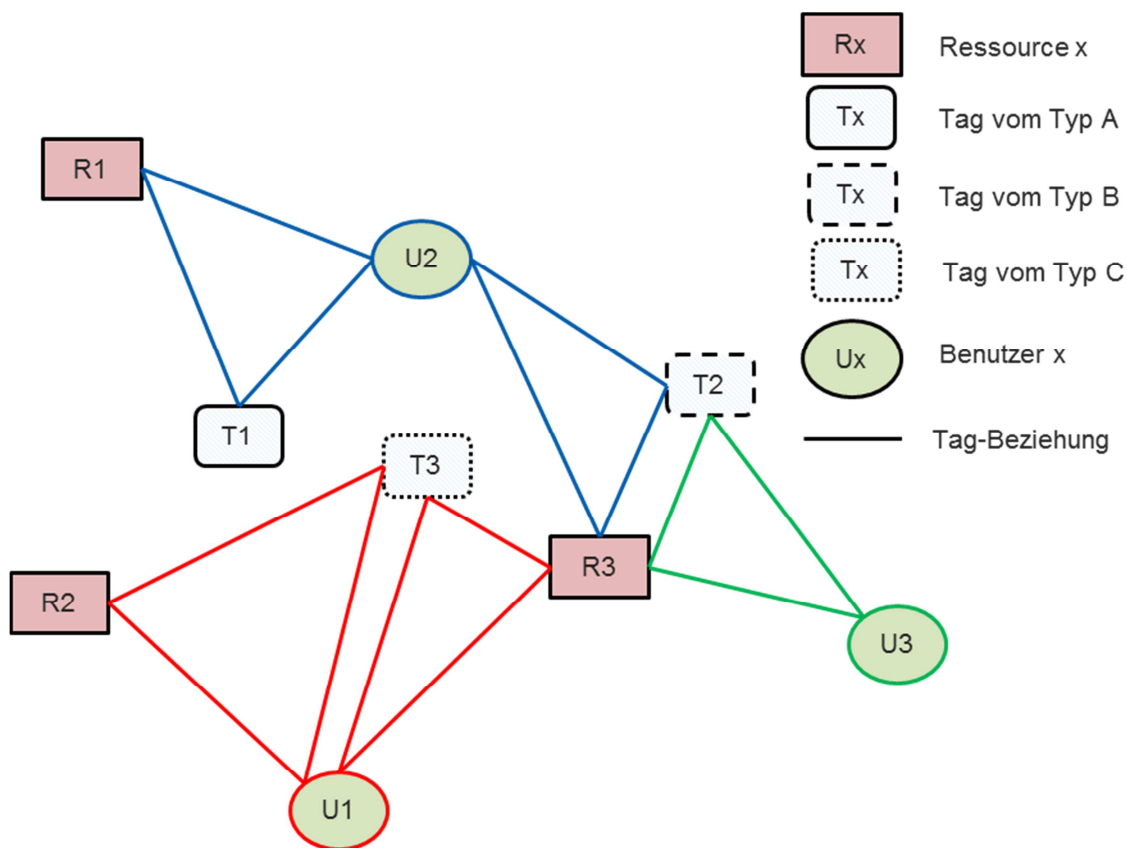


Abbildung 11: Einfache Folksonomy mit typisierten Tags

4.3 Umsetzung der Konzepte in der CROKODIL-Lernumgebung

Mit der CROKODIL-Lernumgebung [ARB+11] wurde eine exemplarische Lernanwendung geschaffen, welche die zwei zuvor vorgestellten Konzepte zur Erweiterung der Grundidee des Social Bookmarking umsetzt. Damit können die in Abschnitt 4.1 dargestellten einzelnen Aufgaben des Ressourcen-basierten Lernens mittels Funktionen einer einheitlichen Anwendung unterstützt werden. Einzig der Teilschritt der Nutzung wird in CROKODIL nicht unterstützt, da diese individuell unterschiedlich ist und dafür verschiedenste Werkzeuge wie beispielsweise Editoren existieren. Die Implementierung in CROKODIL erlaubt es, die Konzepte zu überprüfen und einzelne Aspekte der Gestaltung und Nutzung zu analysieren.

Bei der CROKODIL-Lernumgebung handelt es sich um eine Web-Anwendung, in welcher die von den Nutzern gefundenen Ressourcen, identifiziert über ihre jeweilige URL, getaggt werden. Dabei wird in der CROKODIL-Lernumgebung das Konzept des typisierten Taggens realisiert [RBB11]. In CROKODIL realisierte Typen von Tags sind *Thema*, *Ort*, *Ereignis*, *Person* und *Dokumententyp*. Zum Zwecke des Annotierens und Organisierens können Ressourcen zudem mit einem Titel und einer Beschreibung versehen werden. Weiterhin wird zu getaggt Web-Ressourcen ein Screenshot der Webseite gespeichert. Zur Realisierung der Kollaboration unter den Nutzern der Lernumgebung wurde zudem die Möglichkeit geschaffen, Ressourcen mit einem Kommentar zu versehen. Hier können die Lernenden beispielsweise den individuellen Nutzen einer Ressource zur Bearbeitung einer Aktivität vermerken.

Die Suche nach Ressourcen innerhalb der CROKODIL-Lernumgebung erfolgt anhand der Tags oder mittels einer Volltextsuche über die Titel und Beschreibungen der Ressourcen, wie im Screenshot in Abbildung 12 gezeigt. Dabei lassen sich die Suchergebnisse nach den Tagtypen filtern. Weiterhin ist es möglich, nach Tags zu suchen und sich alle Ressourcen anzeigen zu lassen, die mit dem Tag versehen

wurden. Eine Navigation ist über alle Elemente, d.h. Knoten und Kanten der erweiterten Folksonomy möglich.

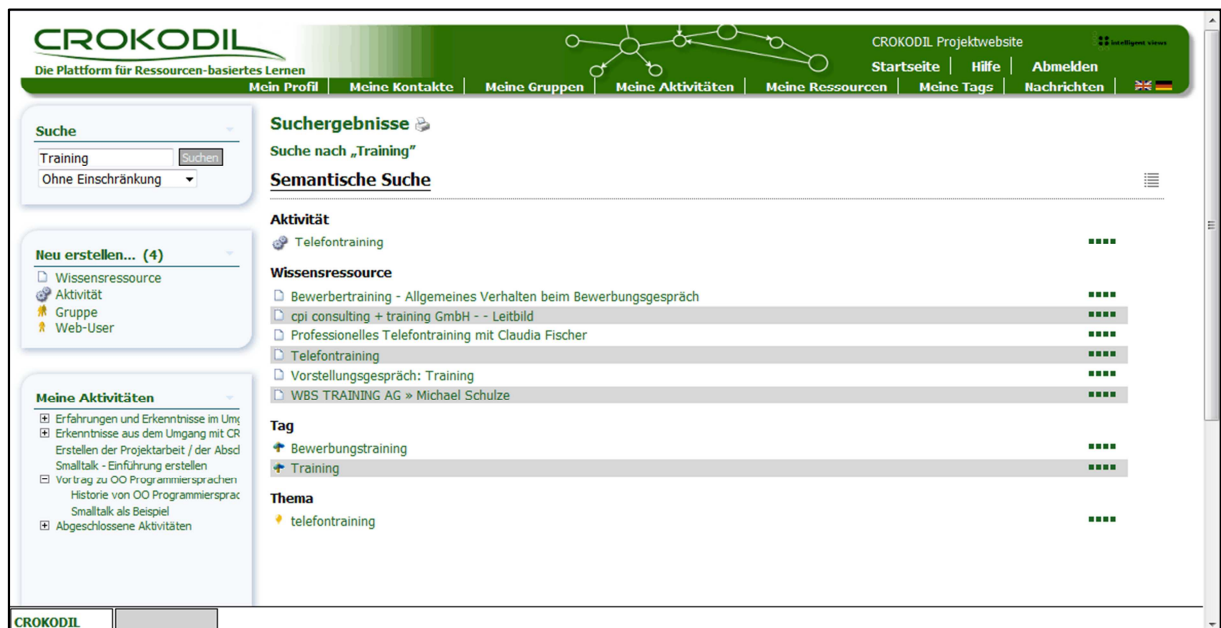


Abbildung 12: Suchinterface der CROKODIL-Lernumgebung

Die Aufgabe des Teilens wird in der CROKODIL-Lernumgebung grundsätzlich dadurch realisiert, dass die Benutzer der Anwendung auch auf die von anderen Nutzern getaggt und annotierten Lernressourcen, deren Tags und Beschreibungen zugreifen können. Die Aktivitäten wurden innerhalb der CROKODIL-Lernumgebung wie im Konzept beschrieben umgesetzt. Abbildung 13 zeigt dies. Aktivitäten haben einen Titel und eine Beschreibung. Zur Reflexion können unter dem Reiter Erfahrungen Eingaben gemacht werden.



Abbildung 13: Darstellung einer Aktivität in der CROKODIL-Lernumgebung

Es gibt weiterhin Funktionen zur Zuordnung von Nutzern zu Gruppen und einen Plattform-internen Chat für jede Gruppe.

Ergebnisse einer Evaluation der allgemeinen Nutzung der CROKODIL-Lernumgebung finden sich in [RLS+12].

4.4 Adaptive Empfehlungen von Lernressourcen in CROKODIL

Die CROKODIL-Lernumgebung unterstützt die Recherche nach Ressourcen, die zur Bearbeitung einer Aktivität hilfreich sein können, mittels verschiedener Funktionen. Innerhalb der Lernumgebung kann der Nutzer Ressourcen und Tags suchen und er kann auf diese Suchergebnisse Filter anwenden. Er kann zwischen den Knoten der erweiterten Folksonomy, also den Lernressourcen, Tags und Aktivitäten, mittels Hyperlinks, entsprechend der Kanten der Folksonomy, navigieren. Ergänzend werden den Nutzern innerhalb der CROKODIL-Lernumgebung Ressourcen empfohlen. Die Auswahl der empfohlenen, d.h. dem Nutzer angezeigten Ressourcen, ist ein in die Lernanwendung integrierter Adaptionsmechanismus. Abbildung 14 skizziert dies in Übereinstimmung mit der in Kapitel 2 verwendeten Darstellungsform.

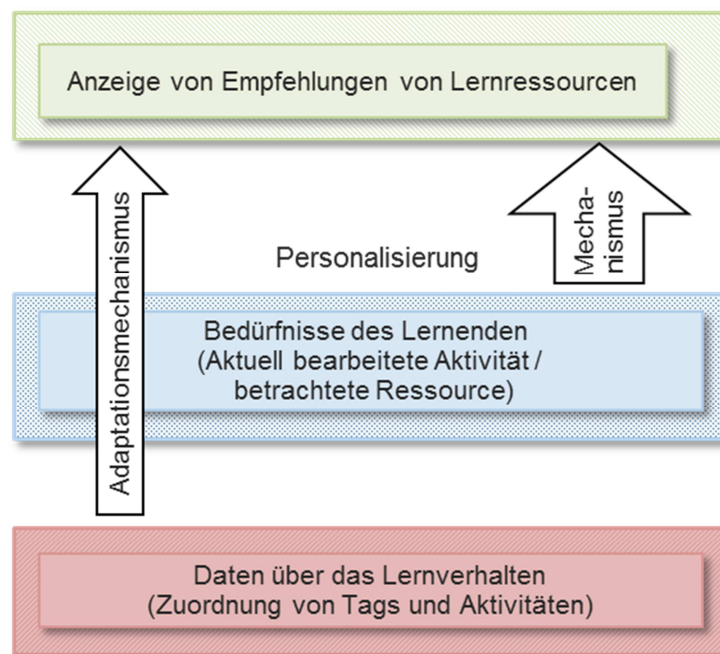


Abbildung 14: Empfehlungen als Adaptionsmechanismus

Die verschiedenen in der CROKODIL-Lernumgebung realisierten Empfehlungsmechanismen werden nachfolgend zusammengefasst.

4.4.1 Strukturelle Empfehlung in Abhängigkeit vom betrachteten Objekt

Innerhalb der CROKODIL-Lernumgebung betrachtet und interagiert der Nutzer mit Lernressourcen und Aktivitäten. Eine Aktivität wird als aktuelles Lernbedürfnis des Nutzers interpretiert. In Abhängigkeit vom aktuell betrachteten Objekt werden ihm weitere Objekte empfohlen. Dazu wird der durch die Folksonomy gebildete Graph nach definierten Regeln traversiert und die mittels Traversal gefundenen Objekte werden als Empfehlung angezeigt. Das Ranking der gefundenen Objekte erfolgt entsprechend des Abstandes zum aktuell betrachteten Objekt, ermittelt über die Kanten zwischen den Knoten des Folksonomy-Graphen [RSB+10]. Nur die am höchsten gerankten Objekte werden in der Lernumgebung als Empfehlungen angezeigt.

Diese Form der Ermittlung von Empfehlungen funktioniert nur dann gut, wenn die Benutzer ein einheitliches Vokabular von Tags verwenden. In diesem Fall wird der gesamte Graph ein zusammenhängender Graph sein oder nur aus einer geringen Anzahl von Komponenten bestehen. Er hat dann zudem eine relativ hohe Dichte. In der Praxis ist dies häufig nicht der Fall, wie eine Analyse des bei der Nutzung der CROKODIL-Lernumgebung entstandenen Graphen ergab [Dom12]. Dies liegt teilweise daran, dass die Nutzer Ressourcen und Tags aus verschiedenen Sprachen, insbesondere Deutsch und Englisch, verwenden [SSR+11].

Um diese Problematik zu umgehen, wird der durch die Folksonomy gebildete Graph um Kanten zwischen den Tags erweitert. Diese Kanten werden durch Über-Unterordnungs-Beziehungen der Form „ist ein“ zwischen den Tags gebildet [DSR11]. Die Über-Unterordnungs-Relationen sind Teil einer umfassenden Begriffs-Taxonomie, die mit Hilfe eines neuartigen Verfahrens unter Anwendung maschinellen Lernens aus den Artikeln der Wikipedia abgeleitet wurde [DRS11, DSR+12]. Das Verfahren zur Taxonomiebestimmung verwendet den Wikipedia-Kategorien-Graphen, der auch in [ZG07] als Quelle verwendet wird, und 20 verschiedene, die syntaktischen und strukturellen Eigenschaften der Wikipedia Artikel zusammenfassende Merkmale. Dieses Verfahren ist in mehreren Sprachen nutzbar und liefert für das Nutzungsszenario zufriedenstellende Ergebnisse. Das Qualitätsmaß F-Measure für die Bestimmung von „ist ein“ Beziehungen in der Taxonomie liegt in der durchgeführten Evaluation je nach Sprache zwischen 71% und 80%. Details des Verfahrens und der Evaluation sind in [DRS11, DSR+12] beschrieben.

4.4.2 Inhaltsbasierte Empfehlungen

Ergänzend zu den Empfehlungen auf Basis des (erweiterten) Folksonomy-Graphen wurden in der CROKODIL-Lernumgebung inhaltsbasierte Empfehlungen realisiert. Die inhaltlichen Empfehlungen werden auf Basis der semantischen Ähnlichkeit zwischen Texten berechnet. Dazu wurde das bestehende Explicit Semantic Analysis Verfahren (ESA) [GM07] zur Bestimmung der semantischen Ähnlichkeit zwischen Textabschnitten erweitert. ESA verwendet zur Bestimmung der Ähnlichkeit von zwei Texten die Artikel der Wikipedia. In der ersten vorgenommenen Erweiterung, XESA genannt, werden zusätzlich die Kategorien aus Wikipedia und der Artikelgraph der Wikipedia verwendet.

Eine zweite Erweiterung von ESA erlaubt die Bestimmung der semantischen Ähnlichkeit zwischen Texten, die in verschiedenen Sprachen vorliegen, wie sie bei der Verwendung der CROKODIL-Lernumgebung auftreten [SSR+11]. Eine vergleichende Evaluation des Basisverfahrens ESA mit den beiden Erweiterungen zeigte, dass die mittlere durchschnittliche Precision der berechneten Textähnlichkeit um 7% mittels der ersten Erweiterung und um 5,4% mittels der zweiten Erweiterung verbessert werden kann [SBD+10].

In der CROKODIL-Lernumgebung werden die zwei neu entwickelten Verfahren dazu verwendet, paarweise die semantische Ähnlichkeit zwischen den Beschreibungen der getaggten Ressourcen zu vergleichen. Solange der Wert der Ähnlichkeit einen gegebenen Schwellwert überschreitet, werden diejenigen Ressourcen als Empfehlung angezeigt, die zur vom Nutzer aktuell betrachteten Ressource am ähnlichsten sind.

Abbildung 15 zeigt exemplarisch die in der CROKODIL-Lernumgebung realisierbaren Empfehlungen von Ressourcen in Abhängigkeit vom betrachteten Objekt. In diesem Beispiel betrachtet der Benutzer *Ressource 2*. *Ressource 1* wird dem Benutzer aufgrund der Traversalion der Folksonomy empfohlen. *Ressource 3* hingegen ist nur aufgrund der Erweiterung des Graphen durch die Über-Unterordnungs-Relation zwischen *Tag 2* und *Tag 3* erreichbar. Die *Ressource 4* wird wegen einer über dem Schwellwert s liegenden semantischen Ähnlichkeit empfohlen, die anderen Ressourcen nicht. Der Schwellwert kann in Abhängigkeit von der Dichte des Folksonomy-Graphens erfolgen. Ist die Dichte hoch, besteht weniger Notwendigkeit Kanten zu ergänzen und es kann ein hoher Schwellwert verwendet werden.

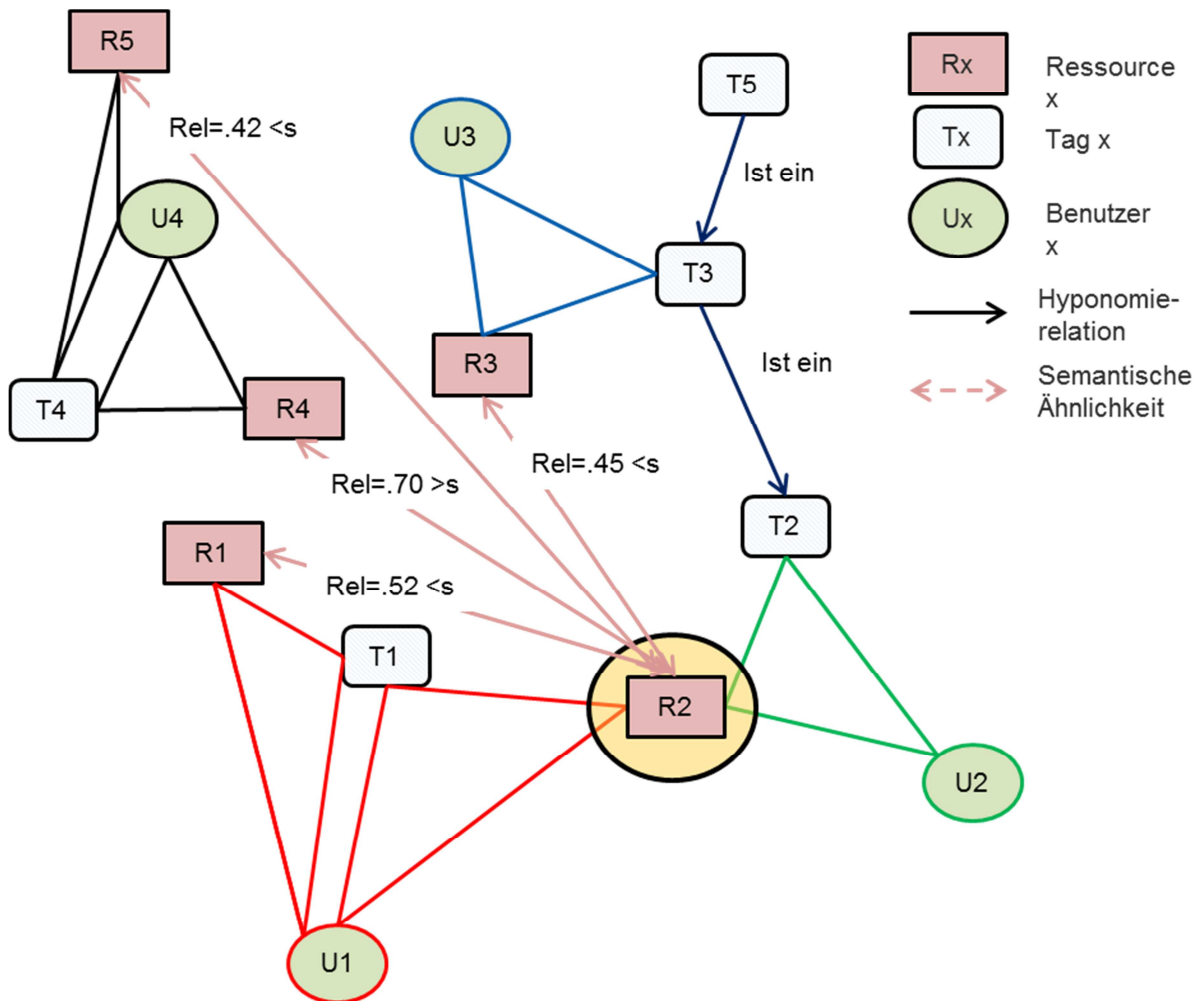


Abbildung 15: Empfehlungen in Abhängigkeit vom betrachteten Objekt

Bei dieser Art von Empfehlungen handelt es sich um einen Adaptationsmechanismus entsprechend der Definition aus Kapitel 2.1. Die vom Empfehlungsmechanismus bestimmten Objekte, d.h. die dem Nutzer als Empfehlung angezeigten Ressourcen und Aktivitäten, werden abhängig von den Bedürfnissen bestimmt. Diese Bedürfnisse werden ausgedrückt über das aktuell im Fokus des Benutzers befindliche Objekt.

4.4.3 Graphen-basierte Empfehlungen unter Berücksichtigung der Aktivitäten

Die zuvor vorgestellten Verfahren berücksichtigen nicht die besondere Bedeutung der Aktivitäten innerhalb der CROKODIL-Lernumgebung. Um diese zusätzliche Information bei der Berechnung von zu empfehlenden Ressourcen zu nutzen, wurden Erweiterungen des Graphen-basierten Empfehlungsmechanismus FolkRank konzipiert, implementiert und evaluiert. FolkRank ist ein weit verbreitetes Verfahren zur Berechnung von Empfehlungen auf Basis von Folksonomien [HJS+06]. Es handelt sich bei FolkRank um eine Adaptation des bekannten PageRank-Verfahrens [BP12], wie es von Web-Suchmaschinen verwendet wird. Die dem FolkRank zugrunde liegende Annahme ist, dass eine Ressource bedeutsamer ist, je öfter sie von bedeutsamen Benutzern getaggt wurde. Im von der Folksonomy gebildeten Graphen werden daher die Kanten vor der Anwendung von FolkRank nach den folgenden Regeln gewichtet:

- Das Kantengewicht zwischen einer Ressource r und eine Tag t entspricht der Anzahl der Benutzer u , die die Ressource r mit dem Tag t versehen haben.
- Das Kantengewicht zwischen einer Ressource r und einem Benutzer u entspricht der Anzahl der Tags t , die der Benutzer u der Ressource r zugeordnet hat.

- Das Kantengewicht zwischen einem Tag t und einem Benutzer u entspricht der Anzahl der Ressourcen r , die der Benutzer u mit dem Tag t versehen hat.

Zur Berücksichtigung der Aktivitäten in der CROKODIL-Lernumgebung wurde im Verfahren AScore [ARD+12] die Folksonomy aus Ressourcen und Tags um die Aktivitäten als Knoten erweitert, wie zuvor beschrieben und in Abbildung 10 gezeigt. AScore berechnet nun die Kantengewichte der zusätzlich entstandenen Kanten wie folgt:

- Das Kantengewicht zwischen einer Aktivität a und einer Ressource r entspricht der maximalen Anzahl der Benutzer u , welche die Ressource mit einem identischen Tag t getaggt haben.
- Das Kantengewicht zwischen einem Benutzer u und einer Ressource r entspricht der maximalen Anzahl der Benutzer u , welche die Ressource mit einem identischen Tag t getaggt haben.
- Das Kantengewicht zwischen einem Benutzer u und einer Aktivität a entspricht der maximalen Anzahl der Ressourcen, welche mit einem identischen Tag t vom Benutzer u getaggt sind, der sich mit der Aktivität a beschäftigt.
- Das Kantengewicht zwischen einer über- und einer untergeordneten Aktivität entspricht dem Maximum der Kantengewichte derjenigen Kanten, die von der untergeordneten Aktivität ausgehen.

Damit ergeben sich insgesamt die in Abbildung 16 am Beispiel gezeigten Kantengewichte.

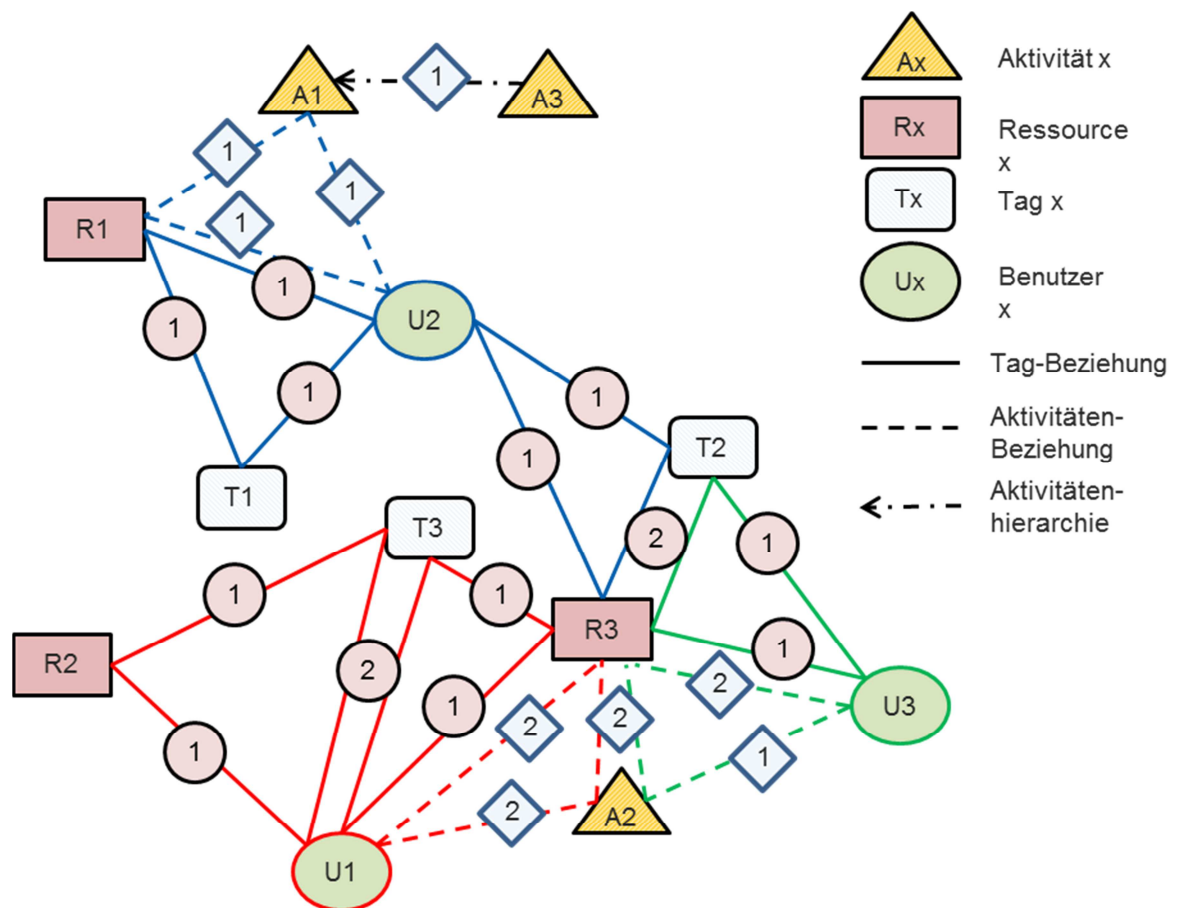


Abbildung 16: Kantengewichte im erweiterten Folksonomy-Graphen

Auf diesen erweiterten und mit Kantengewichten versehenen Graphen kann dann ein herkömmliches Verfahren wie FolkRank angewendet werden, um die Gewichte der einzelnen Knoten zu berechnen. Die mittels des Verfahrens bestimmten Knotengewichte werden dann für die Auswahl der zu empfehlenden Knoten verwendet. Die im Rahmen einer Benutzerevaluation durchgeführte Betrachtung von AScore

zeigt, dass diese Erweiterung dem Base-Line Verfahren FolkRank hinsichtlich dreier unterschiedlicher Kriterien, nämlich der Relevanz, Neuartigkeit und Diversität der Empfehlungen überlegen ist. Details zur Evaluation des Verfahrens im Rahmen einer Benutzerstudie finden sich in [ER14].

4.4.4 Graphen-basierte Empfehlungen unter Berücksichtigung der Tag-Typen

Im zuvor vorgestellten Verfahren AScore wurde die besondere Bedeutung der Aktivitäten innerhalb der CROKODIL-Lernumgebung verwendet, um ein erweitertes Verfahren zur Berechnung von Empfehlungen zu implementieren. Neben den Aktivitäten ist eine Besonderheit der CROKODIL-Lernumgebung die Typisierung der Tags. Die Information über die Tag-Typen wird im Verfahren AspectScore genutzt [RAD+12]. In AspectScore wird der Folksonomie-Graph erweitert, indem den Tags ihr Typ als Attribut zugewiesen wird. Für ein Tag mit verschiedenen Typen im Graphen werden mehrere eigenständige Knoten des Tags mit dem jeweiligen Typen gebildet. So wird zwischen den Typen unterschieden und der Graph disambiguiert, wie in Abbildung 17 beispielhaft dargestellt. Weiterhin wird das Gewicht aller Kanten zwischen den disambiguierten Knoten der Tags und allen benachbarten Knoten angepasst. In Abhängigkeit vom Typen des Tags werden die Kanten unterschiedlich gewichtet. Kanten zu Knoten von Tags mit dem Typ Thema erhalten im Vergleich zu den Kanten zu Tags der anderen Typen das höchste Gewicht, da die Vermutung besteht, dass das Tags des Typs Thema zur Bestimmung geeigneter Ressourcenempfehlungen relevanter ist als die Tags der anderen Typen.

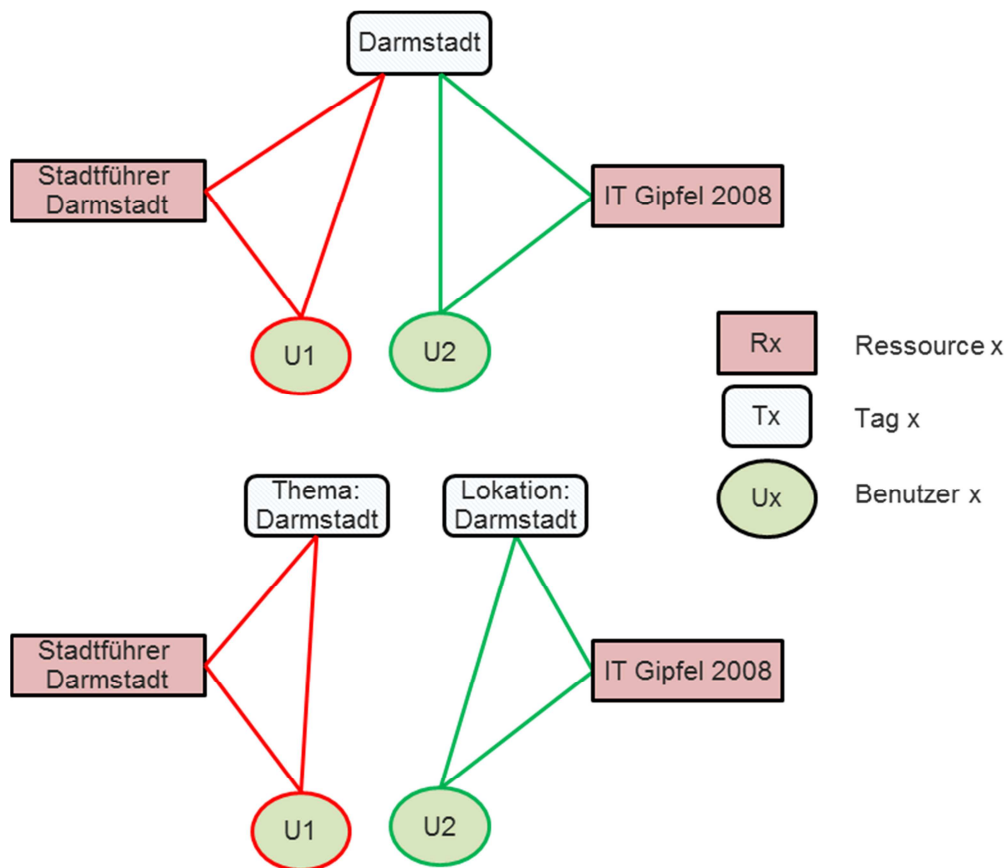


Abbildung 17: Disambiguiertes Folksonomie Graph

Auf diesen erweiterten und gewichteten Graphen kann dann wiederum ein herkömmliches Verfahren wie FolkRank angewendet werden, um die Gewichte der einzelnen Knoten zu berechnen, die dann für die Auswahl der zu empfehlenden Knoten verwendet werden. In der durchgeführten Evaluation zeigte AspectScore im Vergleich zu FolkRank, je nach gewähltem Evaluationsmaß, eine identische oder bessere Empfehlungsgüte. Details zum Verfahren AspectScore und zur Evaluation sind in [RAD+12] beschrieben.

4.5 Evaluation von Empfehlungssystemen in Lernanwendungen

Die Anforderungen an Empfehlungssysteme in Lernanwendungen unterscheiden sich von denen in anderen Anwendungsbereichen, wie beispielsweise dem E-Commerce. Die Empfehlungen sollten insofern personalisiert sein, als dass sie das Vorwissen des Lernenden berücksichtigen [BS12]. Pädagogische Erfahrungen verlangen zudem, dass Lernende mit Herausforderungen konfrontiert werden müssen. Der Lernprozess kann durch eine Variation von neuartigen Ressourcen stimuliert werden [BS12]. Bei der Realisierung von Empfehlungsmechanismen sollte also berücksichtigt werden, dass zwar passende, aber auch neuartige und unterschiedliche und durchaus auch unerwartete Lernressourcen empfohlen werden [MDV+12].

Dementsprechend sind für die Evaluation von Empfehlungssystemen in Lernanwendungen auch geeignete Verfahren zur Evaluation notwendig. Eine umfassende Analyse von Publikationen zu Empfehlungssystemen in Lernanwendungen ergab, dass Offline-Evaluationen mittels historischer Daten die vorwiegend genutzte Methode sind. Die Genauigkeit wird zumeist leider oft nur in Precision und Recall, aus dem Information-Retrieval bekannte Evaluationsmaße, gemessen [EFR15]. Mit Offline-Evaluationen lassen sich die benutzerspezifischen Effekte wie die Zufriedenheit und die, aus pädagogischer Sicht relevanten, Aspekte Neuartigkeit, Diversität und Abweichen von der Erwartung nicht messen. Um diese Effekte bewerten zu können, ist es vielmehr notwendig, die Benutzer in einer Benutzerstudie oder im Rahmen eines Experimentes in einer realen Umgebung einzubeziehen.

Die häufige Verwendung von Offline-Evaluationen ist insbesondere dadurch bedingt, dass die Durchführung von Benutzerstudien und Experimenten in der realen Nutzung wesentlich aufwändiger als Offline-Evaluationen sind. Frameworks [DBA+12] können den Aufwand zur Evaluation von Empfehlungsmechanismen mittels Offline-Experimenten weiter reduzieren. Benutzerstudien und Experimente lassen sich zudem nur schwer wiederholen, was notwendig ist, um beispielsweise den Einfluss verschiedener Parameter des Empfehlungsmechanismus zu bestimmen.

Mit dem Ziel, Benutzerstudien schneller und mit geringerem Aufwand zu ermöglichen, wurde überprüft, ob Crowdsourcing für die Evaluation von Empfehlungssystemen in Lernanwendungen grundsätzlich und unter welchen Rahmenbedingungen genutzt werden kann. Im Crowdsourcing werden Aufgaben über eine Web-Plattform an Arbeiter ausgelagert [SNS+16]. So wird der Aufwand, Probanden für eine Studie zu akquirieren, deutlich reduziert. Die Durchführung von Benutzerstudien mittels Crowdsourcing zur Bewertung von Empfehlungssystemen hinsichtlich der Kriterien Relevanz, Neuartigkeit und Diversität hat sich als grundsätzlich machbar erwiesen [EJS+13]. Die wesentlichen Herausforderungen bestehen dabei darin, die Aufgabe in kleine, in kurzer Zeit von den Arbeitern bearbeitbare Teilaufgaben zu zerlegen und sogenannte Spammer zu identifizieren [ER14].

5 Adaptive Nutzerinteraktionen im situativen, erfahrungsbasierten Lernen

Gegenstand dieses Kapitels ist der situative Wissenserwerb in Communities von Beschäftigten, die an unterschiedlichen Arbeitsorten tätig sind. Dies ist ein zweites, häufig anzutreffendes Szenario des informellen Lernens in offenen Lernumgebungen am Arbeitsplatz. Dieses Szenario wird nachfolgend detailliert vorgestellt. Dazu dienen die Ergebnisse einer Anforderungsanalyse, die mit Servicetechnikern im Automobilsektor durchgeführt wurde. Im Anschluss folgt die Beschreibung eines Konzeptes zur Realisierung von Lernanwendungen für dieses Szenario, welche die Anforderungen berücksichtigen. Die Vorstellung der Implementierung einer Lernumgebung als Umsetzung des Konzeptes schließt sich an. Diese wurde spezifisch für Servicetechniker im Automobilsektor realisiert. Zum Abschluss des Kapitels werden ein Verfahren zur Erkennung der Aktivitäten der Servicetechniker und die Adaption der Lernanwendung auf Basis des Wissens über diese Aktivitäten erläutert.

Dieses Kapitel fasst Aspekte zusammen, die in verschiedenen Publikationen [DRD14, DRT13, DRT14, DRT+15, RD14, Ren16] detailliert beschrieben sind.

5.1 Bedeutung situativen Wissenserwerbs auf Grundlage von Erfahrungswissen

Wie in Kapitel 3.1 erläutert, wird berufliches Lernen oft aus Arbeits- und praktischen Handlungserfordernissen heraus motiviert. Der Wissenserwerb am Arbeitsplatz folgt häufig der Notwendigkeit, ein konkretes Problem zeitnah zu lösen [Deh03]. Diese Form des Lernens wird auch Just-in-Time Lernen [Sta05] genannt. Eine Berufsgruppe, in der diese Form des Lernens bzw. Wissenserwerbs oftmals anzutreffen ist, sind Servicetechniker. Deren Berufsbild ist zudem häufig dadurch charakterisiert, dass sie an wechselnden Einsatzorten ihrer beruflichen Beschäftigung nachgehen.

In einer umfassenden Analyse wurden Servicetechnikern im Automobilsektor, als Vertreter der Zielgruppe der Servicetechniker, befragt bezüglich ihrer Aktivitäten, ihres Wissenserwerbs und ihrer Bereitschaft, Kollegen zu unterstützen [RD14]. Von allen angesprochenen Servicetechnikern füllten insgesamt 168 Befragte den kompletten Onlinefragebogen aus. Die Gruppe der Antwortenden setzte sich zusammen aus 36 Beschäftigten zweier großer Autohäuser, die jeweils verschiedene Niederlassungen in Norddeutschland besitzen, und aus 132 Teilnehmern von Weiterbildungsmaßnahmen für Servicetechniker im Automobilsektor.

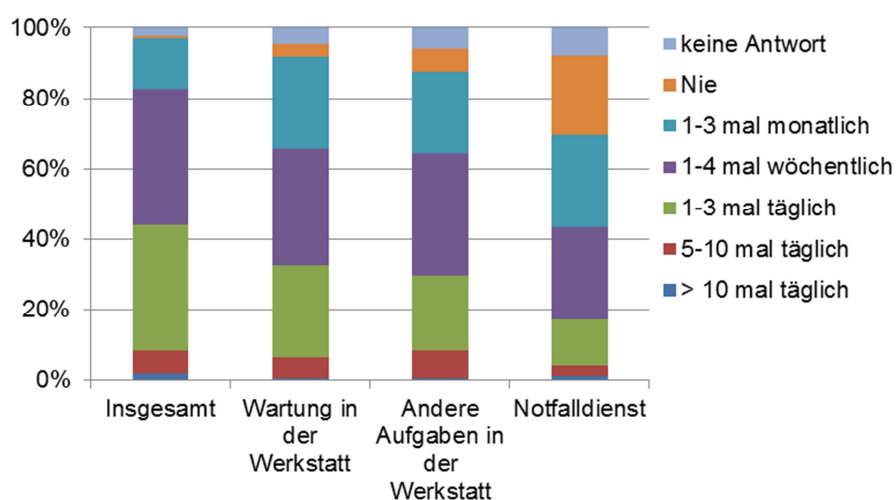


Abbildung 18: Häufigkeit des Unterstützungsbedarfs (N=168)

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass situativer Wissenserwerb in der Gruppe der Servicetechniker im Automobilsektor tatsächlich sehr relevant ist. Beispielsweise sind 45% der Befragten mindestens einmal täglich in der Situation, dass sie zur Bearbeitung ihrer Aufgabe Unterstützung benötigen. In Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Tätigkeit variiert der Grad des Unterstützungsbedarfs, wie in Abbildung 18 zu erkennen ist. Während des Notfalldienstes ist der Bedarf am geringsten. Das ist dadurch zu erklären, dass bei schwierigeren Servicefällen ein defektes Fahrzeug zumeist direkt in die Werkstatt geschleppt wird.

Auf die Frage, welche Informationen tatsächlich bei einem Problem hilfreich sind, vgl. Abbildung 19, zeigt sich, dass die Kollegen vor Ort, neben den Dokumentationen der Hersteller, am zuverlässigsten helfen können. Erfahrungswissen hat bei Servicetechnikern im Automobilsektor somit eine hohe Bedeutung im situativen Lernen.

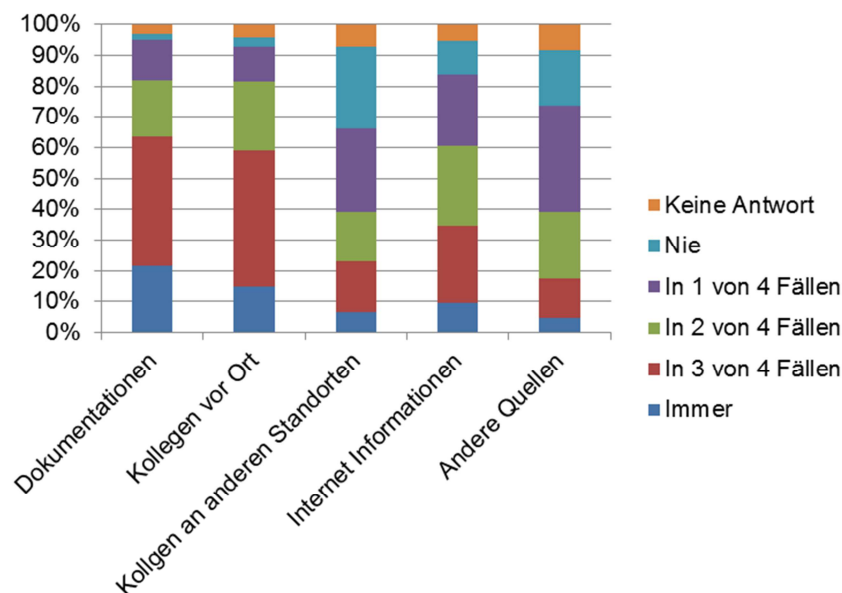


Abbildung 19: Nutzen der Quellen bei Wissensbedarf (N=168)

Zugleich ergab die Befragung eine überaus hohe Bereitschaft, den Kollegen bei einem Wissensbedarf zu helfen. Festzustellen ist aber, dass diese Bereitschaft von der eigenen Tätigkeit abhängig ist. Sie ist am größten in der Arbeitszeit außerhalb der Pausen, vgl. Abbildung 20.

Zusammenfassend hat die Befragung also ergeben, dass in der Berufsgruppe der Servicetechniker im Automobilsektor regelmäßig ein Wissens- oder Lernbedarf besteht, der durch eine Arbeitssituation ausgelöst wird. Weiterhin wurde festgestellt, dass in solchen Situationen das Erfahrungswissen der Kollegen von hoher Bedeutung ist. Diese und weitere Ergebnisse [RD14] waren Ausgangspunkt für die Konzeption einer Lernumgebung für an wechselnden Einsatzorten Beschäftigte, die im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt wird.

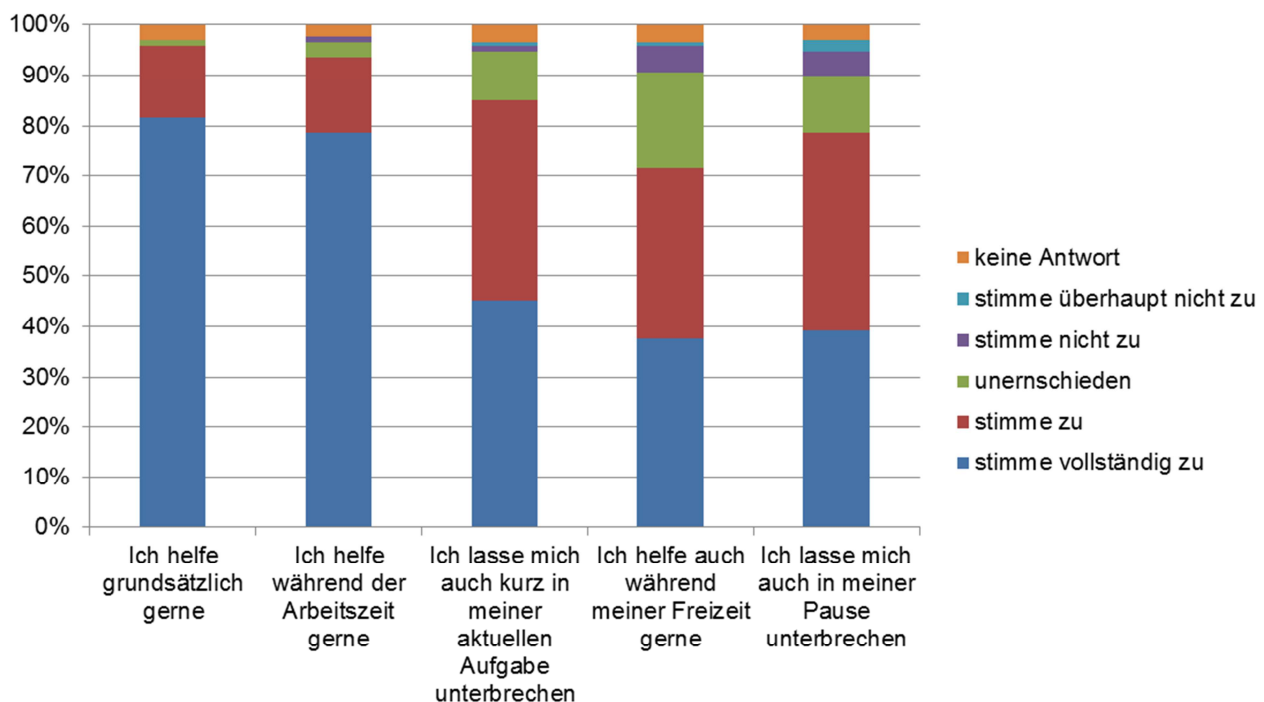


Abbildung 20: Bereitschaft Kollegen bei Wissensbedarf zu unterstützen (N=168)

5.2 Konzept für eine Lernanwendung zum situativen Wissenserwerb

Der Wissenserwerb von an unterschiedlichen Einsatzorten tätigen Mitarbeitern am Arbeitsplatz folgt häufig der Notwendigkeit, sich für eine anstehende Aufgabe vorzubereiten oder aber ein konkretes Problem zeitnah zu lösen. Beide Notwendigkeiten lassen sich als Auslöser eines Just-in-Time Lernen [Sta05] ansehen.

Das Konzept für ein Lernen, das durch diese beiden Anlässe ausgelöst werden kann, stellt eine Kombination aus dem Just-in-Time Lernen mit Hilfe von Micro-Learning-Inhalten und einem Frage- und Antwort-System dar.

Um das Just-in-Time Lernen zu unterstützen, sind Lerninhalte zur Verfügung zu stellen. Sie sollen entweder unmittelbar bei einem aufgetretenen Problem oder zur Vorbereitung auf eine anstehende Arbeitsaufgabe genutzt werden. Dieser Zielsetzung folgend soll es sich um nicht zu umfangreiche und modulare Lerninhalte, oft auch als Micro-Learning-Inhalte bezeichnet, handeln. Micro-Learning-Inhalte sind kleine, in sich abgeschlossene Lernressourcen [SA14]. Sie eignen sich besonders gut für das Just-in-Time Lernen [GG11]. Micro-Learning-Inhalte können verschiedene Formate besitzen.

Wie im Rahmen der vorgestellten Studie gezeigt, spielt weiterhin das Erfahrungswissen der Kollegen eine große Rolle. Insofern bildet ein Frage- & Antwortsystem das zweite grundlegende Konzept einer Lernanwendung zum situativen Wissenserwerb von an unterschiedlichen Einsatzorten tätigen Mitarbeitern [RD14, Ren16]. Frage- & Antwortsysteme sind ein gut geeignetes und breit akzeptiertes Konzept zum Erfahrungsaustausch am Arbeitsplatz [RJS02, SIT03] und in offenen Umgebungen bzw. Communities of Practice, wie das Beispiel der Online Frage & Antwort Community “Stack Overflow“ [HHK+12] zeigt. Insbesondere sind sie in solchen Situationen von Nutzen, in denen die Mitarbeiter räumlich voneinander getrennt sind, so dass ein persönlicher Kontakt nicht möglich ist. Die Eignung des Konzeptes eines Frage- und Antwortsystems stützt sich auch auf der Beobachtung, dass mehrere Servicetechniker, sofern sie räumlich getrennt sind, den Sofortnachrichtendienst WhatsApp, mit der Möglichkeit Fotos zu versenden, nutzen. Sie stellen sich per Kurznachrichtendienst gegenseitig Fragen und beantworten diese. Gegenüber der Verwendung von Kurznachrichtendiensten ergibt sich in Frage-

und Antwortsystemen der Vorteil, dass die Fragen und zugehörigen Antworten im Frage- und Antwortsystem gespeichert sind. Sie stehen somit für wiederkehrende Fragestellungen zur Verfügung.

Um dem Gesichtspunkt der hohen Mobilität der Nutzer der Lernanwendung Rechnung zu tragen, sieht das Konzept weiterhin vor, eine Nutzung der Anwendung auf mobilen Endgeräten zu ermöglichen. Zusätzlich lassen sich dann die Sensorik der Endgeräte verwenden und eine Kontextualisierung realisieren.

5.3 Die MOLEM-Lernanwendung

Die MOLEM-Lernanwendung realisiert in einer mobil nutzbaren Lernanwendung die zuvor vorgestellten Konzepte des Lernens mit Micro-Learning Inhalten und eines Frage- und Antwortsystems.

Für das Lernen mit Micro-Learning Inhalten wurden verschiedene Lerninhalte aufbereitet, zumeist handelt es sich um kurze Lernvideos. Diese Inhalte sind über die MOLEM-Lernanwendung zugreifbar.

Das Frage- und Antwortsystem wurde in folgender Form implementiert, wie auch in Abbildung 21 gezeigt: In der MOLEM-Lernanwendung können die Servicetechniker Fragen stellen und die Fragen ihrer Kollegen beantworten. Sie können Antworten bewerten und kommentieren und Fragen als beantwortet markieren. Um Fragen und Antworten zu illustrieren, können diesen Fotos und Videos angehängt werden. Mehr als 80% der in der Analyse befragten Servicetechniker halten Fotos und Videos für hilfreich, um die Fragen der Kollegen besser zu verstehen [RD14].

Da die Nutzergruppe der Lernanwendung recht klein ist und Servicetechniker in der Regel schnell eine Antwort auf ihre Frage benötigen, benachrichtigt die MOLEM-Lernanwendung Benutzer aktiv bei neuen Fragen [DRT14].

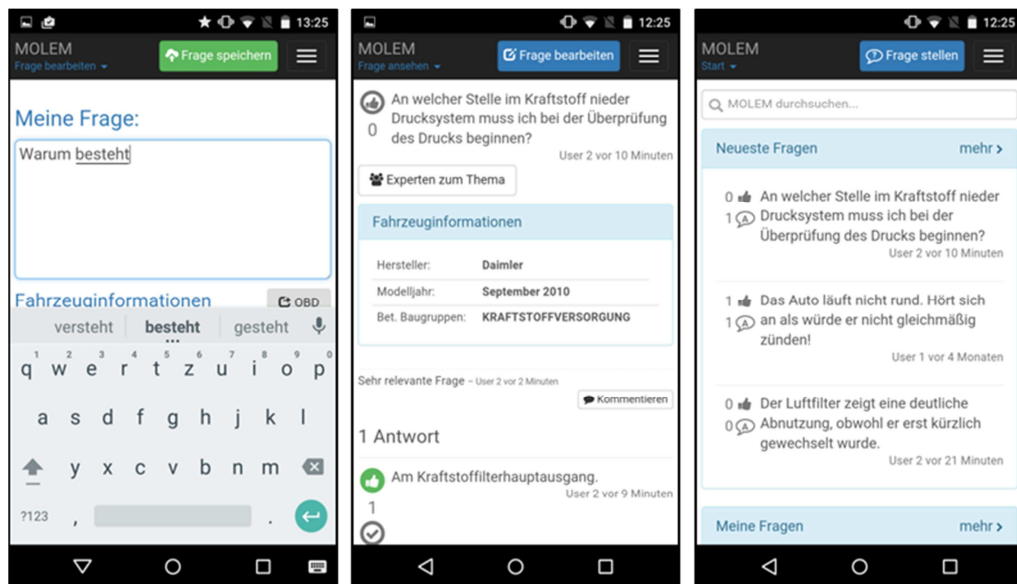


Abbildung 21: Screenshot der Frage und Antwort Funktionalitäten in der MOLEM-App

Stellt der Servicetechniker in der MOLEM-Lernanwendung eine Frage, werden ihm zunächst bestehende Antworten zu ähnlichen Fragen vorgeschlagen. Häufig gestellte Fragen zeigen gegebenenfalls einen Schulungsbedarf auf, den mehrere Mitarbeiter besitzen. Dann kann es sich lohnen, für den Themenbereich der Frage eine Micro-Learning Einheit zu erstellen. Die bereits gegebenen Antworten können die Grundlage für die Lerneinheit sein.

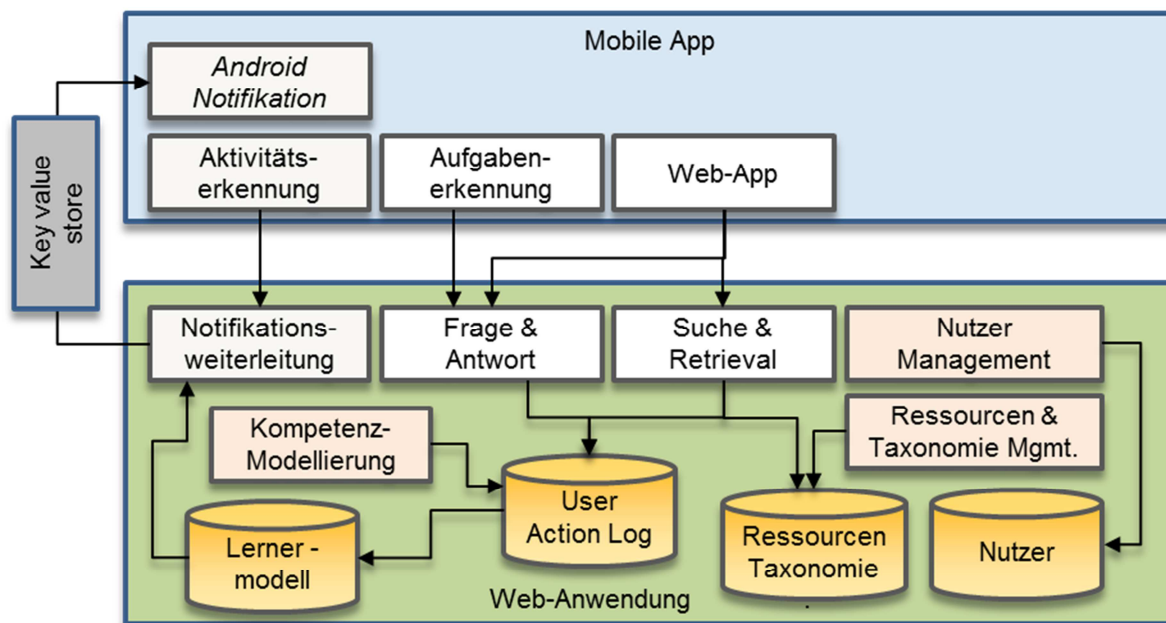


Abbildung 22: Architektur der MOLEM-Lernanwendung

Die Indizierung der Fragen und zugehörigen Antworten sowie der Micro-Learning-Inhalte erfolgt in MOLEM mittels der Zuordnung zu Begriffen zweier Taxonomien. Die erste Taxonomie beschreibt den Typ des Fahrzeugs, welches im Servicefall bearbeitet wird, die zweite Taxonomie die vom Servicefall betroffene Baugruppe [DRT+15]. Die MOLEM-Anwendung kann diese Informationen mittels einer Schnittstelle zum On Board Diagnose (OBD) System des Fahrzeuges auslesen, so dass sie vom Servicetechniker nicht manuell eingegeben werden müssen.

Umgesetzt wurde die MOLEM-Lernanwendung als mobil nutzbare Anwendung für das Android Betriebssystem. Nahezu alle Servicetechniker verfügen über ein Smartphone, so dass die Nutzung der MOLEM-Lernanwendung insbesondere auch im mobilen Einsatz an unterschiedlichen Standorten und im Notdienst möglich ist. Für die administrativen Aufgaben steht eine im Browser nutzbare Web-Anwendung zur Verfügung, wie in Abbildung 22 schematisch gezeigt. Details der Implementierung und Ergebnisse der Evaluation einer probeweisen Nutzung der MOLEM-Lernanwendung sind in [Ren16] beschrieben. Das Vorgehen und die Ergebnisse einer, im Rahmen der Entwicklung von MOLEM durchgeführten, Usability Studie ist Gegenstand von [DRD14].

5.4 Kontext-abhängige Steuerung der Interaktion in MOLEM

Schnell eine Antwort auf eine gestellte Frage zu bekommen, ist ein entscheidender Faktor für die Akzeptanz und regelmäßige Nutzung von Frage- und Antwortsystemen. Das gilt insbesondere auch in der Zielgruppe der Servicetechniker. Haben sie eine Frage während der Bearbeitung des Serviceauftrags, benötigen sie schnell eine Antwort, denn in aller Regel gibt es einen dem Kunden zugesagten Fertigstellungstermin. In Frage- und Antwort Systemen ist die Antwortzeit auf Fragen im Allgemeinen abhängig von der Größe der Community, die das System nutzt [WRL11]. Notifikationen über eingegangene Fragen können helfen, die Antwortzeiten zu reduzieren. Daher benachrichtigt die MOLEM-Lernanwendung Benutzer aktiv über neu gestellte Fragen. [DRT14] Zugleich können zu viele eingehende Notifikationen aber auch störend sein, was die Akzeptanz der Anwendung wiederum reduziert. Es ist also ein Mechanismus notwendig, der die Nutzer gezielt benachrichtigt, ohne sie zu überlasten.

5.4.1 Steuerung der Interaktion in MOLEM

Die Befragung der Servicetechniker hat gezeigt, dass die Bereitschaft, Fragen der Kollegen zu beantworten abhängig von der eigenen, aktuell durchgeführten Aktivität ist, vgl. Abbildung 20. Zudem zeigten sich individuelle Unterschiede zwischen den Servicetechnikern. Einige sind bereit, während der Pausen zu antworten, andere eher nicht. Aufgrund dieser Individualität bietet die MOLEM-Lernanwendung dem einzelnen Servicetechniker die Möglichkeit zu konfigurieren, während welcher Aktivität er verfügbar ist, d.h. gerne auf Fragen von Kollegen antwortet bzw. unterbrechbar ist, d.h. nur in dringenden Fällen bereit ist, auf Fragen der Kollegen zu antworten. Tabelle 1 zeigt ein Beispiel für die Konfiguration eines Servicetechnikers. Während der Durchführung von *anderen Arbeiten in der Werkstatt* ist er gerne bereit, Fragen zu beantworten; während der Bearbeitung eines Serviceauftrags in der Werkstatt ist er nur in dringenden Fällen dazu bereit; während des *Notfalldienstes* sollte er nicht einmal unterbrochen werden.

Aktivität	Verfügbarkeit	Unterbrechbarkeit	Interaktionskanal
Serviceauftragsbearbeitung in Werkstatt	✗	✓	App
Notfalldienst auf Straße	✗	✗	✗
Andere Arbeiten in Werkstatt	✓	✓	App
Fahren mit dem Auto aus dienstlichen Anlass	✓	✓	Sprachnachricht
Besprechung	✗	✗	✗
Pause	✗	✓	App
Fahren zur/von der Arbeit	✓	✓	Sprachnachricht
Andere Aktivität	✓	✓	App

Tabelle 1: Aktivitäten-abhängige Steuerung der Interaktion

Mit dem Wissen über die aktuell von den einzelnen Servicetechnikern durchgeführte Aktivität, ließen sich also ungewünschte Störungen durch Notifikationen vermeiden. In der MOLEM-Lernanwendung wurde dazu das, in Abbildung 23 dargestellte, Verfahren zur Auswahl der Servicetechniker, die bei einer neu eingegangenen Frage benachrichtigt werden, realisiert.

In einem ersten Schritt erhält nur eine Teilmenge der verfügbaren Servicetechniker eine Nachricht. Trifft in einem definierten Zeitintervall keine Antwort ein, werden iterativ weitere Teilmengen der verfügbaren Servicetechniker benachrichtigt, bis eine Antwort eintrifft oder alle verfügbaren Servicetechniker benachrichtigt worden sind. Erst im Anschluss werden die unterbrechbaren Servicetechniker informiert, sofern noch keine Antwort vorliegt. Wird bei der Bestimmung der Teilmengen berücksichtigt, wie häufig bereits eine Notifikation an den jeweiligen Servicetechniker versendet wurde, lässt sich eine faire Verteilung der Belastung zwischen den Servicetechnikern realisieren.

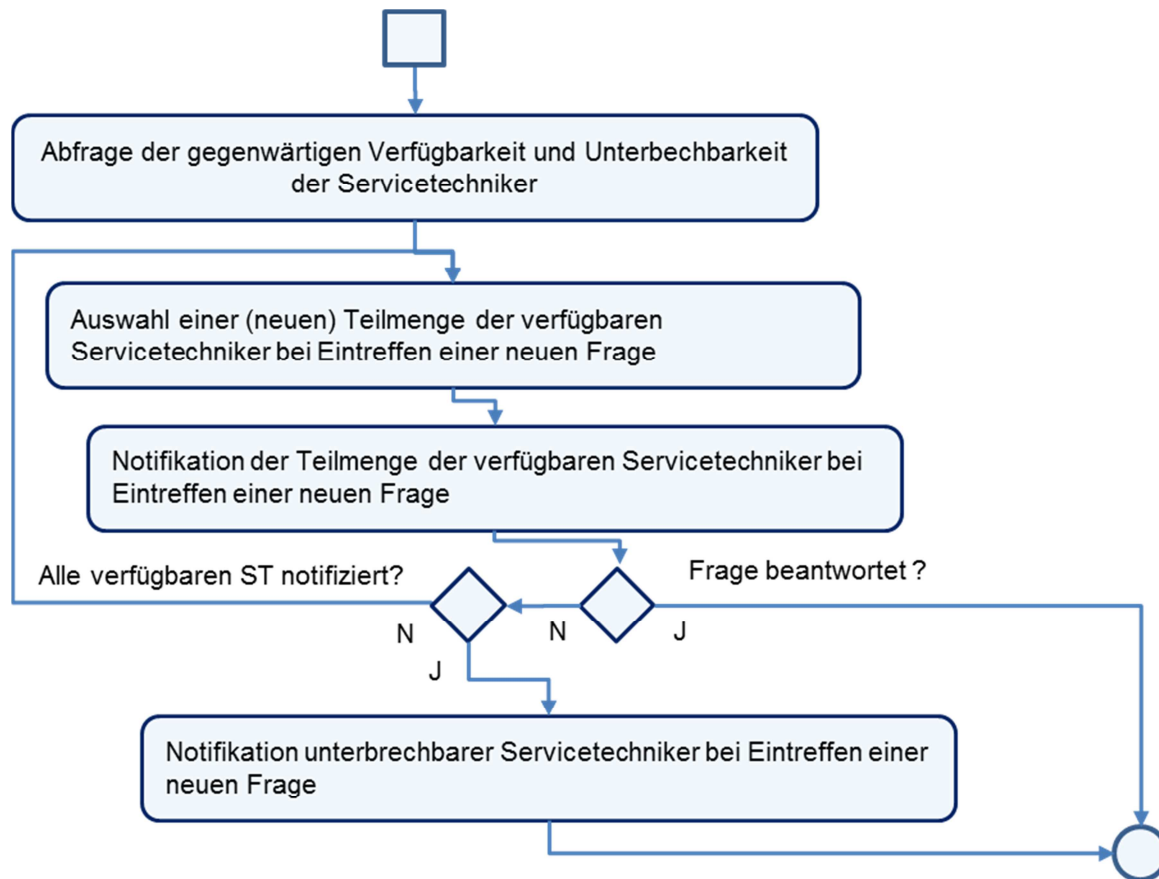


Abbildung 23: Adaptive Steuerung der Notifikation in MOLEM

Ist der Anwendung bekannt, welche Aktivität der Servicetechniker gerade durchführt, ließe sich auch der Kommunikationskanal aktivitätsabhängig bestimmen. Beispielsweise ist der Servicetechniker, dessen Präferenzen in Tabelle 1 aufgeführt sind, während des Fahrens mit dem Auto zwar verfügbar, er sollte aber währenddessen keine App bedienen. Durchaus wäre es ihm aber möglich, eine eingegangene Frage per Sprachnachricht anzuhören. Dazu muss im konkreten hier beschriebenen Anwendungsfall die Frage Server-seitig in eine Sprachnachricht übersetzt werden. Der Servicetechniker kann diese dann abrufen und wiederum mit einer Sprachnachricht beantworten, sofern er eine Antwort kennt.

5.4.2 Aktivitätserkennung mit Hilfe der Sensorik eines Smartphones

Zur Steuerung der Interaktion in der MOLEM-Lernanwendung ist, wie zuvor beschrieben, das Wissen über die von den Servicetechnikern jeweils aktuell durchgeführten Aktivitäten notwendig. Die einfachste Möglichkeit bestünde darin, die Servicetechniker in der MOLEM-Lernanwendung jeweils angeben zu lassen, welche Aktivität sie gerade ausführen. Sie müssten damit bei jedem Wechsel der Tätigkeit auch ihren Status in der Anwendung ändern. Dies würde eine zusätzliche Belastung für die Servicetechniker bedeuten. Zudem wäre zu erwarten, dass sie Statusänderungen nicht zuverlässig in der Anwendung eingeben.

Daher wurde ein alternatives Verfahren zur automatischen Bestimmung der Aktivitäten der Servicetechniker konzipiert, implementiert sowie evaluiert und in die MOLEM-Lernanwendung integriert. Das Verfahren verwendet Audio-Snippets, die mit dem Smartphone der Servicetechniker aufgezeichnet und auf dem Smartphone klassifiziert werden. Die vom Klassifikator in zeitlichen Intervallen bestimmte Aktivität wird dann verwendet, um, anhand der individuellen Konfiguration, vgl. Tabelle 1, die aktuelle Verfügbarkeit und Unterbrechbarkeit und den präferierten Kommunikationskanal zu bestimmen. Die Informationen darüber werden an den Server der MOLEM-Lernanwendung übermittelt. Die Audiodaten

und auch die Aktivität werden dementsprechend nicht an den Server gesendet, womit ein maximales Maß an Privatheit bei größtmöglichem Nutzen realisiert wird.

Die Klassifikation der Audio-Snippets erfolgt in mehreren Schritten, vgl. Abbildung 24. Zunächst wird das Audio-Snippet in einzelne Fenster zerlegt und leere Fenster werden entfernt. Mittels einer Fourier-Transformation werden die Daten der einzelnen Fenster auf ein diskretes, periodisches Frequenzspektrum abgebildet. Die diskretisierten Daten werden genutzt, um mehrere Features zu bestimmen, die die Eingabe für einen Klassifikator bilden. Dieser Klassifikator verwendet Verfahren des maschinellen Lernens, um letztendlich die Aktivität zu bestimmen.

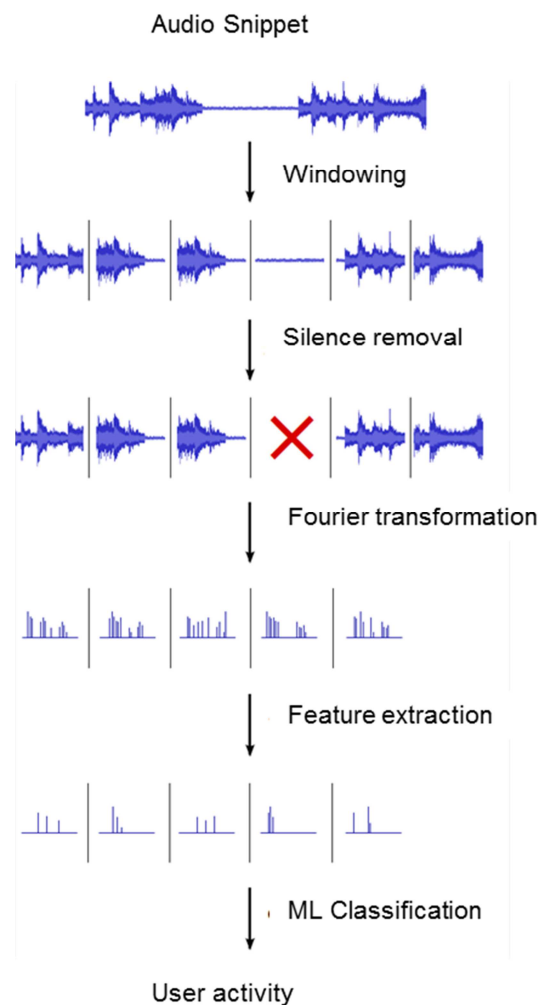


Abbildung 24: Grundlegendes Vorgehen zur Audio-basierten Aktivitätserkennung

Der Vergleich verschiedener Features und verschiedener Verfahren maschinellen Lernens ergab, dass die Kombination aus Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) als Features und einem Random Forest Klassifikator die höchste Zuverlässigkeit bei der Bestimmung der Aktivität liefert. Bei MFCC handelt es sich um ein Verfahren, welches üblicherweise zur automatischen Spracherkennung genutzt wird. In der Kombination aus MFCC und Random Forest lagen in der durchgeführten Evaluation des Klassifikators die Precision über alle Aktivitäten bei 0,9 und der Recall bei 0,89 [DRT14]. Damit erscheint das Verfahren geeignet, um die Aktivitäten in der MOLEM-Lernanwendung zu bestimmen.

5.4.3 Adaptivität in der MOLEM-Lernanwendung

Die in der MOLEM-Lernanwendung realisierte Form der Adaptivität lässt sich der Kontextualisierung, wie in Abschnitt 2.1 definiert, zuordnen, vgl. Abbildung 25.

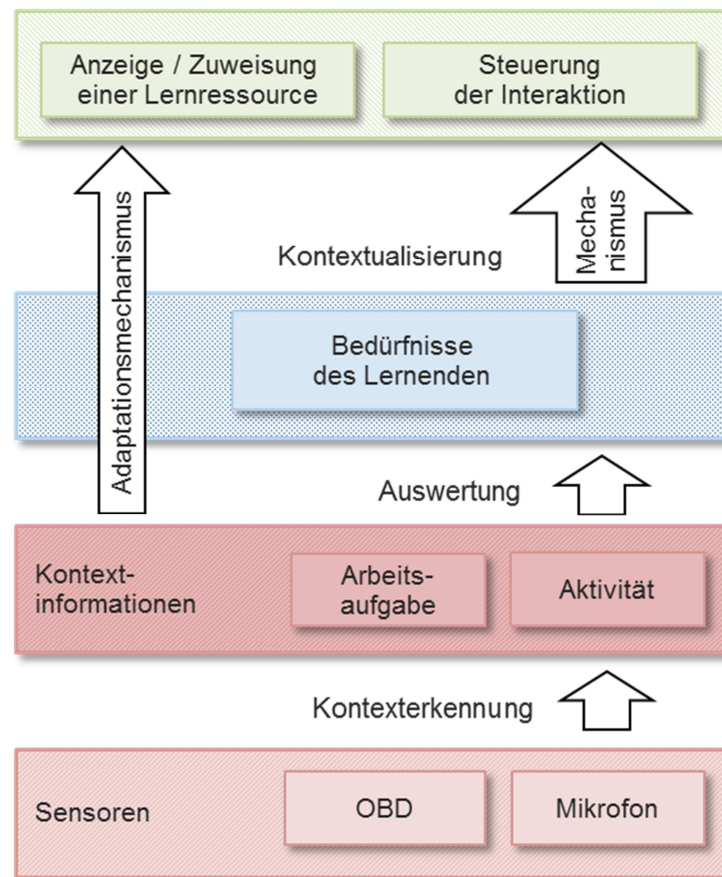


Abbildung 25: Adaptation in der MOLEM-Lernanwendung

Das Mikrophon des Smartphones ist ein Sensor und das Klassifikationsverfahren erkennt die Aktivität des Servicetechnikers als Kontextinformation. Diese wird verwendet, um die Interaktion in der Lernanwendung zu steuern. Der Adaptionsmechanismus besteht aus dem zuvor vorgestellten und in Abbildung 23 gezeigten Verfahren.

Als zweite Form der Adaptation in der MOLEM-Lernanwendung kann die Auswahl der Fragen und Micro-Learning-Inhalte angesehen werden. Die On-Board-Diagnose (OBD) des Fahrzeugs stellt den Sensor dar, der von der MOLEM-Lernanwendung per Bluetooth ausgelesen wird. Die OBD liefert als Kontextinformation Informationen über das Fahrzeug wie die Fahrzeug-ID, aus der der Fahrzeugtyp und die Modellreihe bestimmt werden. Diese Informationen charakterisieren die aktuelle Arbeitsaufgabe des Servicetechnikers. Der Adaptionsmechanismus besteht dann darin, dass aus allen verfügbaren Fragen und Lerninhalten diejenigen ausgewählt werden, die für den im Servicefall bearbeiteten Fahrzeugtyp und die Modellreihe relevant sind.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung und Beiträge der Arbeit

Informelle Lernformen innerhalb offener Lernumgebungen, die in der beruflichen Fort- und Weiterbildung zunehmend relevant sind, stellen sehr hohe Anforderungen an die Lernenden. In dieser Arbeit wurden für zwei konkrete berufliche Lernszenarien neue Konzepte für in den Szenarien nutzbare Lernanwendungen entwickelt. Es handelt sich um Erweiterungen bzw. die Kombination vorhandener Konzepte. Die Konzepte wurden jeweils als Proof-of-Concept implementiert und in der betrieblichen Praxis genutzt und evaluiert. Somit wurden neuartige Lernanwendungen gestaltet, die den Lernenden Funktionen zur Durchführung des Lernprozesses zur Verfügung stellen. Die Konzepte und ihre Umsetzung in Lernanwendungen bieten einen pädagogischen und praktischen Mehrwert gegenüber den bisher verwendeten bzw. zur Verfügung stehenden Konzepten und Anwendungen. Beide Anwendungen wurden um Adaptionsmechanismen ergänzt, die zur Unterstützung des individuellen Lernenden in seiner aktuellen Lernaufgabe konzipiert und entwickelt wurden.

Der Beitrag, der in der Arbeit vorgestellten konzeptionellen Erweiterungen des Social Bookmarkings und deren Realisierung in der CROKODIL-Lernumgebung, liegt zunächst in einer durchgängigen Unterstützung aller Teilprozesse innerhalb des sogenannten Ressourcen-basierten Lernens. Die Phasen der Planung und Reflexion wurden in Social-Bookmarking-Anwendungen bisher nicht unterstützt. Dazu dienen Aktivitäten. Sie sind realisiert als spezifischer Typ eines Tags und lassen sich hierarchisch strukturieren. ein weiterer eigener Beitrag in diesem Bereich besteht in den vier verschiedenen in der Arbeit realisierten Empfehlungssystemen.

Spezifisch für den situativen Wissenserwerb im mobilen Arbeitskontext, unter besonderer Berücksichtigung des Erfahrungswissens, wurden ein Konzept aus der Kombination von Just-in-Time Learning mittels sogenannter Micro-Learning Inhalte mit einem Frage- und Antwortsystem vorgestellt. Dessen Umsetzung erfolgte in der MOLEM-Lernanwendung. Sie unterscheidet sich von heute in solchen Szenarien häufig verwendeten Sofortnachrichtendiensten, wie WhatsApp, in verschiedenen Eigenschaften, die den spezifischen Beitrag des Konzepts und von MOLEM darstellen. Fragen und zugehörige Antworten sind in der MOLEM-Lernanwendung durchsuchbar. Somit müssen wiederkehrende Fragen nicht erneut gestellt werden. Die Bereitstellung von Micro-Learning Lerninhalten erweitert das didaktische Szenario maßgeblich. Als Anpassungsmechanismus wurde ein Verfahren zur Steuerung der Interaktion in Abhängigkeit von den aktuellen Benutzeraktivitäten vorgestellt. Das Verfahren zur Audio-basierten Bestimmung der Benutzeraktivitäten stellt einen weiteren eigenen Beitrag dar. Erste Untersuchungen einer Übertragung dieses Verfahrens auf die Erkennung von typischen studentischen Aktivitäten haben gezeigt, dass dieses Verfahren auch in andere Anwendungsszenarien übertragbar ist.

Neben den genannten Beiträgen für die zwei spezifischen Szenarien leistet die Arbeit einen grundsätzlichen Beitrag zur Begriffsklärung und damit für ein einheitliches Verständnis des umfangreichen Forschungsfeldes der adaptiven Lernanwendungen. So werden verschiedene Formen von Adaptation in Lernanwendungen definiert und überblicksartig bestehende Verfahren zur Anpassung von Lernanwendungen beschrieben und klassifiziert.

6.2 Potenziale der Adaptation von Lernanwendungen und Forschungsbedarfe

Lernanwendungen müssen den Lernszenarien entsprechend gestaltet sein, um den Lernenden eine Unterstützung in allen Teilaufgaben des Lernszenarios zu bieten. Zudem müssen pädagogische und didaktische Aspekte bei der Gestaltung berücksichtigt werden, damit der Lernende geeignet im

Lernprozess unterstützt wird. Diese Arbeit zeigt mit der Personalisierung, im Beispiel der CROKODIL-Lernumgebung, und der Kontextualisierung, im Beispiel der MOLEM-Lernanwendung, auf, welche Potenziale verschiedene Formen der Adaption zur Unterstützung der Lernenden besitzen.

Die Entwicklung von Adaptationsmechanismen für Lernanwendungen und die Untersuchung deren Potenziale ist aber noch lange nicht abgeschlossen. Die in verschiedenen Studien [Woo10], [ZHB+15], [NMC16] gesehene Bedeutung adaptiver Lernanwendungen ist immens und heute noch nicht erreicht. Mehrere Forschungs- und Entwicklungslinien lassen sich aber bereits ausmachen.

Ein Schwerpunkt der Forschung wird zukünftig im Bereich der Kontexterkenennung liegen. Die Nutzung der Sensoren von Smartphones der Benutzer und die Auswertung der mit diesen Sensoren erhobenen Daten, stellen nur einen Ausgangspunkt dar. Weitere Typen von Sensoren sind relevant: Umgebungssensoren im Internet der Dinge, Sensoren in der automatisierten Produktion als Arbeitsumgebung und immer günstiger werdende bio-physiologische Sensoren. Die mit diesen Sensoren erhobenen Daten können zunehmend genutzt werden, um den Kontext des Lernenden auszuwerten und daraus seine lernspezifischen Bedarfe zu bestimmen.

Ein zweiter Schwerpunkt wird in der Verwendung von neuen Verfahren des maschinellen Lernens und hier insbesondere des Deep Learning liegen. Die Möglichkeiten des Deep Learning können in Bezug auf das Themenfeld dieser Arbeit noch nicht ausreichend abgesehen werden. Es besteht aber die Vermutung, dass mittels Deep Learning neuartige Personalisierungsmechanismen zu realisieren sind, bei denen zudem die Explizierung der Kenntnisse über den Lernenden in einem Lernermodell nicht notwendig sind.

Im umfangreichen Forschungsfeld Learning Analytics beziehungsweise Educational Data Mining ist zuletzt eine verstärkte Ausrichtung hin zur Zielsetzung, die Lernenden zu unterstützen, zu erkennen. Das stimmt mit der grundlegenden Zielsetzung adaptiver Lernanwendungen überein. Motivation für Learning Analytics und Educational Data Mining sind nicht mehr nur der Wunsch nach besseren Informationen für Bildungsorganisationen und Entscheidungsträger. Dieser Blickwinkel auf den Lernenden drückt sich auch in Anstrengungen aus, in Learning Analytics nicht nur Daten aus einer Lernanwendung isoliert zu betrachten, sondern Daten aus verschiedenen Lernanwendungen zusammenzufügen. So kann ein ganzheitliches Bild vom Lernenden und seinen Lernaktivitäten gewonnen werden.

Literaturverzeichnis

- [ACW+05] Azevedo, R., Cromley, J. G., Winters, F. I., Moos, D. C., & Greene, J. A. (2005). Adaptive human scaffolding facilitates adolescents' self-regulated learning with hypermedia. *Instructional science*, 33(5-6), 381-412.
- [ADB+99] Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., & Steggles, P. (1999). Towards a better understanding of context and context-awareness. In *Proc. International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, HuC 1999*, S. 304-307. Springer.
- [AM00] Abowd, G. D., & Mynatt, E. D. (2000). Charting past, present, and future research in ubiquitous computing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 7(1), 29-58.
- [ABR11] Anjorin, M., Böhnstedt, D., & Rensing, C. (2011). Towards Graph-Based Recommendations for Resource-Based Learning using Semantic Tag Types. In *Proc. Die 9. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2011 Poster Workshops Kurzbeiträge*, S. 3-9 TUD press.
- [ARB+11] Anjorin, M., Rensing, C., Bischoff, K., et al. (2011). CROKODIL - a Platform for Collaborative Resource-Based Learning. In *Proc. of the 6th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2011*, no. LNCS 6964, S. 29-42, Springer.
- [ARD+12] Anjorin, M., Rodenhausen, T., García, R. D., & Rensing, C. (2012). Exploiting semantic information for graph-based recommendations of learning resources. In *Proc. European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2012*, no. LNCS 7563, S. 9-22. Springer.
- [ARS11] Anjorin, M., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2011). Towards Ranking in Folksonomies for Personalized Recommender Systems in E-Learning. In *Proc. of the second Workshop on Semantic Personalized Information Management: Retrieval and Recommendation, SPIM 2011*, vol. 781, S. 22-25, CEUR-WS.
- [BC99] Bielaczyc, K., & Collins, A. (1999). Learning communities in classrooms: A reconceptualization of educational practice. In C. M. Reigeluth (Hrsg.), *Instructional design theories and models, Vol II*, S. 269-292. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [Ben10] Benz, B. F. (2010). Improving the Quality of E-Learning by Enhancing Self-Regulated Learning. A Synthesis of Research on Self-Regulated Learning and an Implementation of a Scaffolding Concept (Doctoral dissertation, TU Darmstadt).
- [BES98] Brusilovsky, P., Eklund, J. & Schwarz, E. (1998). Web-based education for all: A tool for developing adaptive courseware. *Computer Networks and ISDN Systems* 30(1-7), 291-300.
- [BFN+08] Bischoff, K., Firan, C. S., Nejd, W., & Paiu, R. (2008). Can all tags be used for search?. In *Proc. of the 17th ACM conference on Information and knowledge management, CIKM 2008*, S. 193-202, ACM.
- [BG09] Beckwith, R., & Greenfield, S. (2009). Context aware education for agriculture. In *Proc. Pervasive Computing and Communications, PerCom 2009*, S. 1-5, IEEE.
- [BH07] Brusilovsky, P., & Henze, N. (2007). Open Corpus Adaptive Educational Hypermedia. In P. Brusilovsky, A. Kobsa, W. Nejd (Hrsg.): *The Adaptive Web*, no. LNCS 4321, S. 671-696, Springer.

-
-
- [BI14] Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational data mining and learning analytics. In J. A. Larusson, B. White (Hrsg.): *Learning analytics From Research to Practice*, S. 61-75, Springer.
- [BLR+11] Böhnstedt, D., Lehmann, L., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2011). Automatic identification of tag types in a resource-based learning scenario. In *Proc. of the 6th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2011*, no. LNCS 6964, S. 57-70, Springer.
- [Boe99] Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of educational research*, 31(6), 445-457.
- [BP12] Brin, S., & Page, L. (2012). Reprint of: The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer networks*, 56(18), 3825-3833.
- [BR12] Böhnstedt, D., & Rensing, C. (2012). Anregung der Kooperation zwischen Lernenden mittels eines Feeds von Aktionen in einer Lerncommunity. In *Proc. Die 10. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2012*, S. 15-26, Köllen Verlag.
- [Bru00] Brusilovsky, P. (2000). Adaptive hypermedia: From intelligent tutoring systems to Web-based education. In *Proc. International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2000*, no. LNCS 1839, S. 1-7, Springer.
- [Bru01] Brusilovsky, P. (2001). Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction* 11(1-2), 87-110.
- [BS12] Buder, J., & Schwind, C. (2012). Learning with personalized recommender systems: A psychological view. *Computers in Human Behavior*, 28(1), 207-216.
- [BS14] Bilger, F.; Strauß, A. (2014).: *Weiterbildungsverhalten in Deutschland 2014*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), Bonn.
- [BSR+09] Böhnstedt, D., Scholl, P., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2009). Collaborative semantic tagging of web resources on the basis of individual knowledge networks. In *Proc. International Conference on User Modeling, Adaptation, and Personalization, UMAP 2009*, no. LNCS 5535, S. 379-384, Springer.
- [BTK07] Burgos, D., Tattersall, C. & Koper, R. (2007). How to Represent Adaptation in e-Learning with IMS Learning Design. *Interactive Learning Environments*, 15(2), 161–170
- [Bün12] Bünnagel, W. (2012). *Selbstorganisiertes Lernen im Unternehmen: Motivation freisetzen, Potenziale entfalten, Zukunft sichern*. Springer.
- [CH10] Chu, H. C., & Hwang, G. J. (2010). A location-aware mobile learning system to provide field learning guidance for natural science courses. In *Proc. 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, CAR 2010*, Vol. 3, S. 291-294). IEEE.
- [CHW10] Cheng, S. C., Hwang, W. Y., Wen, D. W., Wu, S. Y., Hsieh, C. H., & Chen, C. Y. (2010). A Mobile and Web System with Contextual Familiarity and its Effect on Campus English Learning. In *Proc. Third IEEE International Conference on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning, DIGTEL 2010*, S. 222-224, IEEE.
- [CKA97] Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Anderson, J. R. (1997). Intelligent Tutoring Systems. In M. Helander & T. K. Landauer & P. Prabhu (Hrsg.): *Handbook of human-computer interaction*, second, completely revised edition, S. 849-874. Elsevier Science Publishers.
- [DBA+12] Domínguez García, R., Bender, M., Anjorin, M., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2012). FReSET: an evaluation framework for folksonomy-based recommender systems. In *Proc. of the 4th ACM RecSys workshop on Recommender systems and the social web, RS Web 2012*. 25-28, ACM.

-
- [DBS+09] Dominguez Garcia, R., Böhnstedt, D., Scholl, P., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2009). Von Tags zu semantischen Netzen-Einsatz im Ressourcen-basierten Lernen. In Proc. Workshops Die 7. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2009, S. 29-36, Logos.
- [DLM+13] Dyckhoff, A. L., Lukarov, V., Muslim, A., Chatti, M. A., & Schroeder, U. (2013). Supporting action research with learning analytics. In Proc. of the Third International Conference on Learning Analytics and Knowledge, LAK 2013, S. 220-229, ACM.
- [Deh03] Dehnbostel, P. (2003). Informelles Lernen: Arbeitserfahrungen und Kompetenzerwerb aus berufspädagogischer Sicht. Überarbeiteter Vortrag anlässlich der 4. Fachtagung des Programms „Schule – Wirtschaft/Arbeitsleben“.
- [Deh07] Dehnbostel, P. (2007). Lernen im Prozess der Arbeit. Waxmann.
- [Dom12] Dominguez García, R. (2013). Unterstützung des Ressourcen-basierten Lernens in Online Communities: automatische Erstellung von Grosstaxonomien in verschiedenen Sprachen (Doctoral dissertation, TU Darmstadt).
- [DRD14] Després, L., Rensing, C., & Diaconita, I. (2014). Konzeption, Durchführung und Ergebnisse einer Usability-Studie zu einem Q&A System für mobiles Lernen von Servicetechnikern. In Proc. Die 12. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2014, S. 286-289, Köllen-Verlag.
- [DRS11] Dominguez García, R., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2011). Automatic acquisition of taxonomies in different languages from multiple wikipedia versions. In Pro. of the 11th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies, I-KNOW 2011, S. 1-4, ACM.
- [DRT13] Diaconita, I., Rensing, C., & Tittel, S. (2013). Context-aware Question and Answering for Community-based Learning. In Proc. Die 11. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2013, S. 239-244, Köllen-Verlag.
- [DRT14] Diaconita, I., Rensing, C., & Tittel, S. (2014). Getting the information you need, when you need it: a context-aware Q&A system for collaborative learning. In Proc. European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2014, no. LNCS 8719, S. 410-415, Springer.
- [DRT+15] Després, L., Rensing, C., Tittel, S., & Konert, J. (2015). Modellierung der Kompetenzen Lernender: Explizite und implizite Kompetenzerfassung in einer Lernumgebung für Servicetechniker. In Proc. Die 13. E-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2015, S. 95-106, Köllen-Verlag.
- [DSR11] Dominguez García, R., Scholl, P., & Rensing, C. (2011). Supporting resource-based learning on the web using automatically extracted large-scale taxonomies from multiple wikipedia versions. In Proc. International Conference on Web-Based Learning, ICWL 2011, S. 314-319, no. LNCS 7048, Springer.
- [DSR+12] Dominguez García, R., Schmidt, S., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2012). Automatic taxonomy extraction in different languages using wikipedia and minimal language-specific information. In Proc. International Conference on Intelligent Text Processing and Computational Linguistics, CICLing 2012, S. 42-53, no. LNCS 7181, Springer.
- [Eco09] Economides, A. A. (2009). Adaptive context-aware pervasive and ubiquitous learning. International Journal of Technology Enhanced Learning, 1(3), 169-192.
- [EFR15] Erdt, M., Fernández, A., & Rensing, C. (2015). Evaluating Recommender Systems for Technology Enhanced Learning: A Quantitative Survey. IEEE Transactions on Learning Technologies, 8(4), 326-344.
- [EJS+13] Erdt, M., Jomrich, F., Schüler, K., & Rensing, C. (2013). Investigating crowdsourcing as an evaluation method for TEL recommender systems. In Proc. Workshop on Collaborative Technologies for Working and Learning, ECTEL meets ECSCW 2013, Vol. 1047, S. 25-29, CEUR.
-

-
-
- [EL12] Ebner, M., & Lorenz, A. (2012). Web 2.0 als Basistechnologien für CSCL-Umgebungen. In Haake, J., Schwabe, G., Wessner, M. (Hrsg.): CSCL-Kompodium, 2. Auflage, De Gruyter.
- [ER14] Erdt, M., & Rensing, C. (2014). Evaluating recommender algorithms for learning using crowdsourcing. In Proc. IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2014, S. 513-517, IEEE.
- [Erp97] Erpenbeck, J. (1997). Selbstgesteuertes, selbstorganisiertes Lernen. In Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.). Kompetenz-entwicklung '97. Berufliche Weiterbildung in der Transformation – Fakten und Visionen. Münster, New York, München, Berlin, 310-316
- [FB12] Ferguson, R., & Buckingham Shum, S. (2012). Social Learning Analytics: Five Approaches. In Proc. 2nd International Conference on Learning Analytics & Knowledge, LAK 2012, S. 23-33, ACM.
- [GBS+10] Gienza, A., Bollen, L., Seydel, P., Overhagen, A., & Hoppe, H. U. (2010). LEMONADE: a flexible authoring tool for integrated mobile learning scenarios. In Proc. 6th IEEE International Conference on Wireless, Mobile and Ubiquitous Technologies in Education, WMUTE 2010, S. 73-80, IEEE.
- [GG11] Gu, X., Gu, F., & Laffey, J. M. (2011). Designing a mobile system for lifelong learning on the move. *Journal of Computer Assisted Learning*, 27(3), 204-215.
- [GM07] Gabrilovich, E., & Markovitch, S. (2007). Computing semantic relatedness using Wikipedia-based explicit semantic analysis. In Proc. International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJcAI 2007, Vol. 7, S. 1606-1611.
- [HA08] Hartmann, M., & Austaller, G. (2008). Context Models and Context Awareness. In Mühlhauser, M., & Gurevych, I. *Handbook of Research on Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises*, IGI Publishing, S. 235-256.
- [Her02] Hermann, S. (2002). Herausforderung Wissensarbeit: Ist die Personalwirtschaft darauf vorbereitet. *Personal-Zeitschrift für Human Resource Management*, 54, 10-14.
- [HHK+12] Anderson, A., Huttenlocher, D., Kleinberg, J., & Leskovec, J. (2012). Discovering value from community activity on focused question answering sites: a case study of stack overflow. In Proc. the 18th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, KDD 2012, S. 850-858, ACM.
- [HJ07] Hannafin, M. J., Hill, J. (2007). Resource-based learning. In M. Spector, M. D. Merrill, J. van Merriënboer, & M. P. Driscoll (Hrsg.): *Handbook of research on educational communications and technology*, 3. Auflage, S. 525–536. Mahwah.
- [HJS+06] Hotho, A., Jäschke, R., Schmitz, C., & Stumme, G. (2006). Information retrieval in folksonomies: Search and ranking. In Proc. European Semantic Web conference, ESWC 2006, S. 411-426, no. LNCS 4011, Springer.
- [HGP+12] Hsiao, I., Guerra, J., Parra, D., Bakalov, F., König-Ries, B., & Brusilovsky, P. (2012). Comparative social visualization for personalized e-learning. In Proc. the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces, AVI 2012, S. 303-307, ACM.
- [HKG08] Heymann, P., Koutrika, G., & Garcia-Molina, H. (2008). Can social bookmarking improve web search?. In Proc. the 2008 International Conference on Web Search and Data Mining, WSDM 2008, S. 195-206, ACM.

-
-
- [HYT+09] Hwang, G. J., Yang, T. C., Tsai, C. C., & Yang, S. J. (2009). A context-aware ubiquitous learning environment for conducting complex science experiments. *Computers & Education*, 53(2), 402-413.
- [Kir04] Kirchgöfer, D. (2004). *Lernkultur Kompetenzentwicklung: begriffliche Grundlagen*. Arbeitsgemeinschaft Betriebliche Weiterbildungsforschung.
- [Kla03] Klann, M. (2003). Eud-net's roadmap to end-user development. *IST PROGRAMME*, 43.
- [KWD+07] Kobbe, L., Weinberger, A., Dillenbourg, P., Harrer, A., Härmäläinen, R., Häkkinen, P., & Fischer, F. (2007). Specifying computer-supported collaboration scripts. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 2(2), 211-224.
- [LL02] Lum, W. Y., & Lau, F. C. (2002). A context-aware decision engine for content adaptation. *IEEE Pervasive computing*, 1(3), 41-49.
- [LR14] Lucke, U., & Rensing, C. (2014). A survey on pervasive education. *Pervasive and Mobile Computing*, 14, 3-16.
- [LW91] Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge university press.
- [MC06] Macgregor, G., McCulloch, E. (2006). Collaborative Tagging as a Knowledge Organisation and Resource Discovery Tool. *Library Review*, 55(5), 291-300.
- [MDV+12] Manouselis, N., Drachsler, H., Verbert, K., & Duval, E. (2012). *Recommender systems for learning*. Springer Science & Business Media.
- [Me06] Meder, N. et.al. (2006): *Web-Didaktik: Eine neue Didaktik webbasierten, vernetzten Lernens*, Bertelsmann.
- [MEG+13] Migenda, M., Erdt, M., Gutjahr, M., & Rensing, C. (2013). Semantische Graph-basierte Empfehlungen zur Unterstützung des Ressourcenbasierten Lernens. In *Proc. der Pre-Conference Workshops der 11. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2013*, S. 67-18, Logos.
- [MES13] Meyers, E. M., Erickson, I., & Small, R. V. (2013). Digital literacy and informal learning environments: an introduction. *Learning, Media and Technology*, 38(4), 355-367.
- [MJL14] Moebert, T., Jank, H., Lucke, U., & Kröske, B. (2014). Ein generalisierter Ansatz zur kontextsensitiven Anpassung in mobilen E-Learning-Umgebungen. In *Proc. der Pre-Conference Workshops der 12. E-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2014*, vol. 1227, S. 205-212, CEUR.
- [MVG+03] O'Malley, C., Vavoula, G., Glew, J., Taylor, J., Sharples, M. & Lefrere, P. (2003) *Guidelines for Learning/Teaching/Tutoring. In A Mobile Environment, Mobilelearn Project Deliverable*.
- [NG08] North, K., & Güldenber, S. (2008). *Produktive Wissensarbeit (er): Antworten auf die Management-Herausforderung des 21. Jahrhunderts*. Wiesbaden.
- [NMC16] New Media Consortium. (2016). *NMC Horizon Report 2016 Higher Education Edition*.
- [OY04] Ogata, H., & Yano, Y. (2004). Context-aware support for computer-supported ubiquitous learning. In *Proc. Wireless and Mobile Technologies in Education, WMUTE 2004*, S. 27-34, IEEE.
- [RAD+12] Rodenhausen, T., Anjorin, M., Domínguez, R., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2012). Ranking resources in folksonomies by exploiting semantic information. In *Proc. of the 12th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies, I-KNOW 2012*, S. 1-8, ACM.
- [RAD+12b] Rodenhausen, T., Anjorin, M., Domínguez García, R., & Rensing, C. (2012). Context determines content: an approach to resource recommendation in folksonomies. In *Proc. of*

-
- the 4th ACM RecSys workshop on Recommender systems and the social web, RS-Web 2012, S. 17-24, ACM.
- [RB12] Rensing, C., & Böhnstedt, D. (2012). Informelles, Ressourcen-basiertes Lernen. *i-com*, 11(1), 15-18.
- [RBB11] Rensing, C., Böhnstedt, D., & Baumer, C. (2011). Kollaborativer, bedarfsorientierter Wissenserwerb mittels Web-Ressourcen: Prozessmodell, semantische Technologien und eine Communityplattform. In M. Bentele, N. Gronau, P. Schütt, M. Weber (Hrsg.): *Unternehmenswissen als Erfolgsfaktor mobilisieren-KnowTech*, 241-250, Gito mbH.
- [RBH+05] Rensing, C., Bergsträsser, S., Hildebrandt, T., Meyer, M., Zimmermann, B., Faatz, A., Lehmann, L. & Steinmetz, R. (2005): *Re-Use and Re-Authoring of Learning Resources - Definitions and Examples*. no. KOM-TR-2005-02, November 2005.
- [RBP+11] Rensing, C., Bogner, C., Prescher, T., García, R. D., & Anjorin, M. (2011). Aufgabenprototypen zur Unterstützung der Selbststeuerung im Ressourcenbasierten Lernen. In Proc. Die 9. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2011, S. 151-162, Köllen-Verlag.
- [RC15] Ray, A., & Chakrabarti, A. (2015). Biophysical signal based emotion detection for technology enabled affective learning. In Proc. IEEE International Conference on electrical, Computer and Communication Technologies, ICECCT 2015, S. 1-6, IEEE.
- [RD14] Rensing, C., & Diaconita, I. (2014). A Q&A System Considering Employees' Willingness to Help Colleagues and to Look for Help in Different Workplace-Related Situations: An Analysis in the Automotive Sector. In Proc. IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2014, S. 701-705, IEEE.
- [RDB16] Rensing, C.; Després, L.; Bürger, S. (2016). Mitarbeiterqualifizierung und Wissenstransfer im Zusammenhang der Digitalisierung von Arbeits- und Geschäftsprozessen: Ergebnisse einer Bedarfs- und Trendanalyse, Darmstadt.
- [Ren13] Rensing, C. (2013). MOOCs-Bedeutung von Massive Open Online Courses für die Hochschullehre. *PIK-Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation*, 36(2), 141-145.
- [Ren16] Rensing, C. (2016). A context aware learning application for communities of service technicians. In Proc. of the 16th IEEE International Conference on Advancing Learning Technologies, ICALT 2016, S. 77-81, IEEE.
- [RJS02] Ribak, A., Jacovi, M., & Soroka, V. (2002). Ask before you search: peer support and community building with ReachOut. In Proc. of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work, CSCW 2002, S. 126-135, ACM.
- [RLS+12] Rensing, C., Lüdemann, A., Stübing, B., & Schulz, F. (2012). Erfahrungen in der Gestaltung und Umsetzung von selbstgesteuerten Ressourcen-basierten Lernszenarien in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung. In Proc. Pre-Conference-Workshop Die 10. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2012, S. 1-6, Fernuniversität Hagen.
- [RSB+10] Rensing, C., Scholl, P., Böhnstedt, D. & Steinmetz, R. (2010): *Recommending and Finding Multimedia Resources in Knowledge Acquisition Based on Web Resources*. In: Proc. 19th International Conference on Computer Communications and Networks, ICCN 2010, S. 1-6, IEEE eXpress Conference Publishing.
- [RSF13] Rensing, C., Schwantzer, S., & Faltin, N. (2013). Integration selbstgesteuerten Ressourcen-basierten Lernens in eine durch Instruktion geprägte Lernumgebung. In Proc. Pre-Conference Workshops Die 10. e-Learning Fachtagung Informatik, DeLFI 2013, S. 69-70, Logos.

-
- [RT13] Rensing, C., & Tittel, S. (2013). Situiertes Mobiles Lernen–Potenziale, Herausforderungen und Beispiele. In C. de Witt & A. Sieber: Mobile Learning - Potenziale, Einsatzszenarien und Perspektiven des Lernens mit mobilen Endgeräten, S. 121-142, Springer VS.
- [RTA11] Rensing, C., Tittel, S., & Anjorin, M. (2011). Location based Learning Content Authoring and Content Access in the docendo platform. In Proc. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom 2011, S. 550-555, IEEE.
- [RV10] Romero, C., & Ventura, S. (2010). Educational Data Mining: A Review of the State of the Art. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews. 40(6), 601 - 618.
- [SA14] Souza, M. I. F., & do Amaral, S. F. (2014). Educational microcontent for mobile learning virtual environments. Creative Education, 5(9), 672.
- [SBB+09] Scholl, P., Benz, B. F., Böhnstedt, D., Rensing, C., Schmitz, B. & Steinmetz, R. (2009): Implementation and Evaluation of a Tool for Setting Goals in Self-Regulated Learning with Web Resources. In: Proc. European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2009, S. 521-534, no. LNCS 5794, Springer.
- [SBD+10] Scholl, P., Böhnstedt, D., Dominguez García, R., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2010). Extended explicit semantic analysis for calculating semantic relatedness of web resources. In Proc. European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2010, S. 324-339. no. LNCS 6383, Springer.
- [SBS+05] Syvanen, A., Beale, R., Sharples, M., Ahonen, M., & Lonsdale, P. (2005). Supporting pervasive learning environments: adaptability and context awareness in mobile learning. In Proc. IEEE International workshop on wireless and mobile technologies in education, WMTE 2005, S. 1-3, IEEE.
- [Sem00] Sembill, D. (2000). Selbstorganisiertes und Lebenslanges Lernen. In F. Achtenhagen & W. Lempert (Hrsg.): Lebenslanges Lernen im Beruf—Seine Grundlegung im Kindes-und Jugendalter, S. 60-90, VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- [SF12] Shum, S. B., & Ferguson, R. (2012). Social learning analytics. Journal of educational technology & society, 15(3), 3.
- [SIT03] Schatten, A., Inselkammer, F., & Tjoa, A. M. (2003). System integration and unified information access using question based knowledge management strategies. In Proc. International Conference on Information Integration, Web-Applications and Services, iiWAS, 2003, S. 65-74, OCG.
- [SK05] Sakamura, K., & Koshizuka, N. (2005). Ubiquitous computing technologies for ubiquitous learning. In Proc. IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, WMTE 2005, S. 11-20, IEEE.
- [Smi07] Smith, G. (2007). Tagging: people-powered metadata for the social web. New Riders.
- [SNS+16] Schnitzer, S., Neitzel, S., Schmidt, S., & Rensing, C. (2016). Perceived Task Similarities for Task Recommendation in Crowdsourcing Systems. In Proc. of the 25th International Conference Companion on World Wide Web, WWW 2016, S. 585-590. International World Wide Web Conferences Steering Committee.
- [SSR+11] Schmidt, S., Scholl, P., Rensing, C., & Steinmetz, R. (2011). Cross-lingual recommendations in a resource-based learning scenario. In Proc. European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2011, S. 356-369, no. 6964 LNCS ,Springer.
- [ST94] Schilit, B. N., & Theimer, M. M. (1994). Disseminating active map information to mobile hosts. IEEE network, 8(5), 22-32.
- [Sta05] Stavredes T. (2005). Just-in-Time Learning. In Howard, C. et al. (Hrsg.): Encyclopedia of Distance Learning, S. 1162-1166, Hershey.
-

-
- [SV12] Sachin, R. B., & Vijay, M. S. (2012). A survey and future vision of data mining in educational field. In Proc. Advanced Computing & Communication Technologies, ACCT 2012, S. 96-100, IEEE.
- [SW06] Schmitz, B., & Wiese, B. S. (2006). New perspectives for the evaluation of training sessions in self-regulated learning: Time-series analyses of diary data. *Contemporary educational psychology*, 31(1), 64-96.
- [UN12] Unesco (2012). Pariser Erklärung zu OER, online verfügbar unter www.unesco.de/fileadmin/medien/.../Paris_Declaration_OER_DE_100713.pdf
- [Van06] VanLehn, K. (2006). The behavior of tutoring systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 16(3), 227-265.
- [VDK+13] Verbert, K., Duval, E., Klerkx, J., Govaerts, S., & Santos, J. L. (2013). Learning analytics dashboard applications. *American Behavioral Scientist*, 57(10), 1500-1509.
- [WCD+07] Weal, M. J., Cruickshank, D., Michaelides, D. T., Millard, D. E., De Roure, D. C., Howland, K., & Fitzpatrick, G. (2007). A card based metaphor for organising pervasive educational experiences. In Proc. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PerCom 2007, S. 165-170, IEEE.
- [WM04] Winkler, K., & Mandl, H. (2004). Virtuelle Communities – Kennzeichen, Gestaltungsprinzipien und Wissensmanagement-Prozesse. (Forschungsbericht Nr. 166). München: Ludwig-Maximilians-Universität, Department Psychologie, Institut für Pädagogische Psychologie
- [Wol15] Wolf, K. D. (2015). Bildungspotenziale von Erklärvideos und Tutorials auf YouTube. *merz*, 59(1), 30-36.
- [Woo08] Woolf, B. P. (2008). *Building Intelligent Interactive Tutors*. Morgan Kaufman.
- [Woo10] Woolf, B. P. (2010). *A roadmap for education technology*.
- [WRL11] White, R. W., Richardson, M., & Liu, Y. (2011). Effects of community size and contact rate in synchronous social q&a. In Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2011, S. 2837-2846, ACM.
- [YZH+11] Yang, S. J., Zhang, J., Huang, J. J., & Tsai, J. J. (2010). Using description logics for the provision of context-driven content adaptation services. *International Journal of Systems and Service-Oriented Engineering (IJSSOE)*, 1(1), 96-129.
- [ZG07] Zesch, T., & Gurevych, I. (2007). Analysis of the Wikipedia category graph for NLP applications. In Proc. of the TextGraphs-2 Workshop, NAACL-HLT 2007, S. 1-8, ACL.
- [Zha07] Zhang, D. (2007). Web content adaptation for mobile handheld devices. *Communications of the ACM*, 50(2), 75-79.
- [ZHB+15] Zweck, A., Holtmannspötter, D., Braun, M., Hirt, M., Kimpeler, S. & Warnke, P. (2015). Gesellschaftliche Veränderungen 2030 - Ergebnisband 1 zur Suchphase von BMBF-Foresight Zyklus II, VDI Technologiezentrum GmbH.
- [ZJO12] Zhao, X., Jin, Q., & Okamoto, T. (2012). Semantic retrieval: multiple response model for context-aware learning services. *International Journal of Information Technology, Communications and Convergence* 4, 2(3), 253-267.
- [ZO11] Zhao, X., & Okamoto, T. (2011). Adaptive multimedia content delivery for contextaware u-learning. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, 5(1), 46-63.
-

